



SAVONIA



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TUENTAMALLIEN VAIKUTUS KATTORISTIKKOSUUNNIT- TELUSSA

TEKIJÄ: Anssi Mikkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Anssi Mikkonen			
Työn nimi Tuentamallien vaikutus kattoristikkosuunnittelussa			
Päiväys	5.4.2018	Sivumäärä/Liitteet	48/6
Ohjaaja(t) Markku Oikarinen, lehtori; Teppo Houtsonen, tuntiopettaja			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sepa Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ja pohdittiin naulalevyristikoissa käytettävien välituntojen ja tuentamallien vaikutuksia ristikkorakenteessa ja sen valmistusprosessissa kokonaisuutena. Työssä tarkasteltiin NR-kattoristikon eri kustannusrakenteen osatekijämuuttujien, kuten työpanosten ja materiaalimenekkien merkitystä tapauksissa, joissa kattoristikolle on määrätty erilaisia tuentatapauksia. Tutkimustyön taustana olivat välituntoihin ja tuentamalleihin liittyvät epäselvyydet kunkin tuentaratkaisun kannattavuudesta riippuen kulloinkin vallitsevista olosuhteista. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeä analyysi välituntojen käyttäytymisestä NR-suunnittelussa sekä rakenneteknisessä mielessä, että kustannusrakenteen kannalta. Tämän opinnäytetyön tutkimuskohteena käsiteltiin tavanomaisia harjaristikoita, joissa mahdollisesti olevia työstöjä, lovia tai muita tuotehinnoitteluun vaikuttavia seikkoja ei tutkimuksissa käsitelty tai otettu huomioon.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimustyöt suoritettiin yhteistyössä Sepa Oy:n NR-suunnittelijoiden kanssa vertaillen erilaisten harjaristikoiden käyttäytymistä erinäisissä tuentaratkaisuissa. Tutkimuksissa kerättiin tietoa kattoristikoiden materiaalimenekistä ja NR-suunnittelun työpanoksista sekä haettiin vertailukohtia toimeksiantajayrityksen työarkistoista. Tutkimustuloksia vertailtiin todellisiin jo toteutettuihin ristikkoratkaisuihin ja pyrittiin hahmottamaan vertailukohtien kautta konkreettisia eroavaisuuksia kattoristikon kustannusrakenteessa keskiarvotaulukoinnin avulla. Opinnäytetyössä tutkimusmuotona toimivat myös teemahaastattelut ja haastattelulomakkeet, joilla pyrittiin antamaan suuremmalle kohdejoukolle mahdollisuus ilmaista mielipiteensä tuentaratkaisujen ongelmakohdista ja taloudellisesta kannattavuudesta.</p> <p>Tuloksena opinnäytetyöstä saatiin tilastollista informaatiota sekä graafisessa että taulukoidussa muodossa välituntojen käyttäytymisestä tutkimuskohteissa. Tutkimustuloksista luotiin havainnollistavia taulukoita ja diagrammeja, joiden avulla tuentaratkaisujen erot ja käyttäytyminen olivat helposti lähestyttävissä ja ymmärrettävissä muodossa. Tutkimusten vertailutuloksista pyrittiin luomaan realistista analyysia ja johtopäätelmiä tuentaratkaisujen ominaisuuksista kussakin tutkimustilanteessa.</p>			
Avainsanat tuentamalli, naulalevyristikko, välituki, nurjahdus, tukipaine			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Anssi Mikkonen			
Title of Thesis Effects of Supports When Designing Roof Trusses			
Date	April 5, 2018	Pages/Appendices	48/6
Supervisor(s) Mr. Markku Oikarinen, Senior Lecturer; Mr. Teppo Houtsonen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Sepa Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to study the effects and behaviour of intermediate support structures in load bearing timber-framed trusses. In the background of this thesis there were confusions about the effects of variable supporting conditions on the cost structure of nail plate trusses. In this project different factors, for example labour inputs and materials, were studied and analysed from the perspective of various supporting models. The aim was to clarify the performance of intermediate supporting. Only simple ridge trusses were discussed in this study. Other effecting factors, such as different cuttings and notches were intentionally excluded in this study.</p> <p>This project was commissioned by the company Sepa Oy. In this study various research methods were used, for example observing how much time was required to design the trusses. This study also included collecting information about the amount of the materials needed in the structure, offer calculations and various interviews. The key issue of this project was to collect statistic information showing how much work and materials were required in specific frame structure.</p> <p>As a result of this final year project there was information about different factors affecting the trusses. All the statistics were presented in form of graphs and worksheets to describe the behaviour of variable support conditions.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Supporting model, nail plate truss, intermediate support, buckling, bearing pressure</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDATTELU OPINNÄYTETYÖHÖN	1
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	1
1.2	Työn tilaajan kuvaus	2
2	KATTORISTIKOT YLEISESTI	4
2.1	Valmistus ja materiaalit	5
2.2	Kattoristikon kustannusrakenne ja tuotantokokonaisuus	7
2.3	Ristikkorakenteen mitoitus.....	10
3	TUENTAMALLIEN ANALYYSI	14
3.1	Erilaiset tuentamallit.....	14
3.2	Tuentamallien vaikutukset ristikossa	16
3.2.1	Nurjahdustuenta	18
3.2.2	Tukipainemitoitus.....	21
3.2.3	Materiaalimenekit.....	22
3.2.4	Työmenekit.....	22
3.3	Tuentamallien huomioiminen tuotehinnoittelussa	22
4	OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUKSET	24
4.1	Ajanottotutkimukset.....	24
4.2	Kyselylomakehaastattelu	25
4.3	Puolistrukturoitu haastattelu	26
4.4	Tarjouslaskentatutkimus.....	27
4.5	Huomioita tutkimuksista	27
5	TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU	28
5.1	Tutkimusmenetelmien luotettavuus.....	30
5.2	Kokonaisuuden arviointi	30
5.3	Tulosten vertailu	31
5.4	Tulosten käyttö tarjouslaskennassa	37
5.5	Muut kehitysmahdollisuudet	37
6	YHTEENVETO OPINNÄYTETYÖSTÄ.....	38
6.1	Tulosten tarkastelun haasteet.....	38
6.2	Tavoitteiden saavuttaminen	39
6.3	Jatkotutkimusmahdollisuudet.....	39

LÄHDELUETTELO.....	41
LIITTEET	43
Liite 1. Tutkimustöiden ristikkokaaviot	43
Liite 1.1. amiont:1.....	43
Liite 1.2. amiont:2.....	44
Liite 1.3. amiont:3.....	45
Liite 1.4. amiont:4.....	46
Liite 2.1. Ajanottotutkimuksissa tuotettu yhdistetty tuentamalli kattoristikossa (amiont:3)	47
Liite 2.2. Ajanottotutkimuksissa tuotettu jaetun tuentamallin välituettu tuentatapaus (amiont:4)	48

KÄSITELUETTELO

Naulalevyrakenne	Naulalevyistä ja rakennepuutavarasta mekaanisin liitoksin teollisesti valmistettu ja rakenteellisesti mitoitettu puurakennekokoonpano. Muita mahdollisia: NR-rakenne.
NR-suunnittelija	Naulalevyrakenteiden mitoitukseen ja suunnitteluun perehtynyt sekä pätevöitynyt suunnittelijahenkilö.
Kattoristikko	Tavallisin naulalevyrakenteinen ristikkokokonaisuus, jonka tehtävä on kantaa rakennuksen yläpohjalle ja/tai vesikatolle määrätyt kuormitukset, esimerkiksi vallitsevan lumikuorman. Muita mahdollisia: Kattokannatin, kattotuoli.
Alapaarre	NR-rakenteisen ristikon, esimerkiksi kattoristikon alapinnassa oleva osa, jonka tarkoitus on yhdistää ja sitoa ristikon muut osat toisiinsa ristikon alaosassa. Alapaarteseen voidaan esimerkiksi kiinnittää alakatto-laudoitus.
Yläpaarre	NR-rakenteisen ristikon yläpinnassa oleva osa, jonka tarkoitus on yhdistää ja sitoa ristikon muut osat toisiinsa ristikon yläosassa. Harjaristikon tapauksessa yläpaarteet luovat harjamuodon ristikolle. Yläpaarteseen voidaan esimerkiksi kiinnittää kattoruoteet.
Tukipiste	Naulalevyrakenteen tavallisesti alapaarteella sijaitseva voimia siirtävä kiinnityspiste kannattimen alapuolisiin rakenneosiin. NR-ristikon tarkoitus on johdattaa määrätyt kuormat tukipisteiden kautta alapuolisille kantaville rakenteille.
Välituki	NR-rakennekokonaisuuden äärimmäisenä olevien kantopisteiden välillä oleva tukipiste, jonka aiheuttaa esimerkiksi väliseinä tai –palkki.
Ulokeristikko	Naulalevyrakenne, esimerkiksi kattotuoli, jonka tukipiste ei sijaitse alapaarteen ääripisteessä. Tässä tapauksessa tukipiste sijaitsee keskeisellä ristikkokokoonpanolla ja aiheuttaa ristikkorakenteeseen ulokemaisen muodon, jossa alapaarre jatkuu tukipisteestä ulospäin.
Sarjakoko	Ristikkotilauksen sisältämien geometrisesti ja mitoituksellisesti samankaltaisten ristikoiden lukumäärä. Samaan sarjaan kuuluvien ristikoiden yhteneväisyyden johdosta niiden yksilölliset työkustannukset ovat pieniä riippuen sarjakoosta.

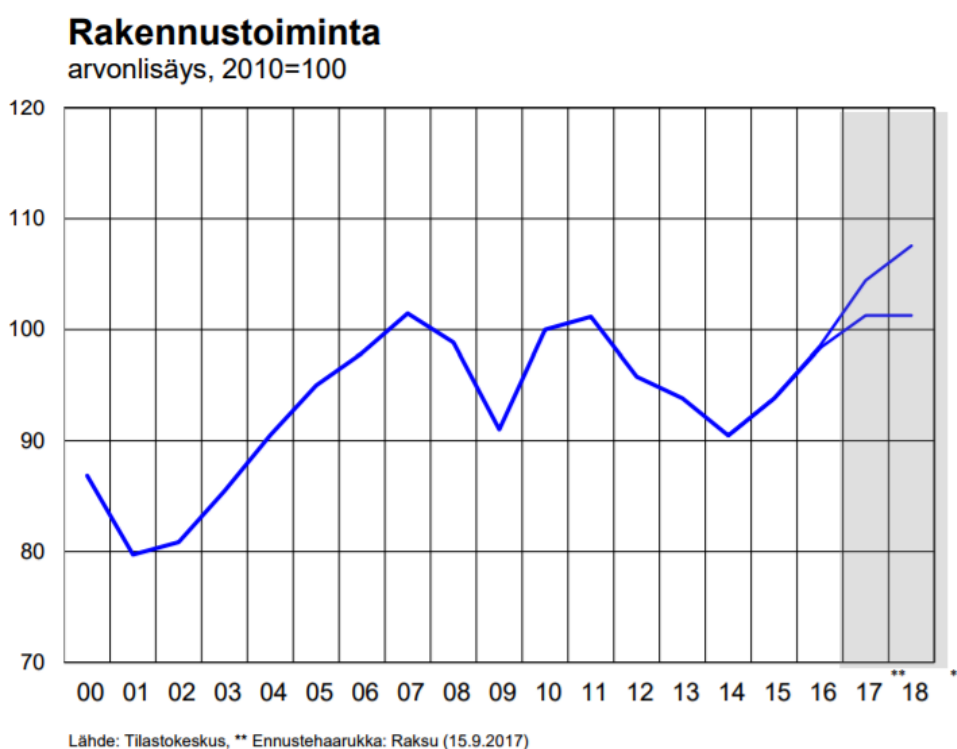
Normaalivoima	Mekaanisen voiman suure, jonka vaikutussuunta on kappaleen tai sauvan suuntaisesti poikkileikkauspintaa kohtisuoraan. Normaalivoiman vaikutuksesta rakenteelliseen kappaleeseen syntyy veto- tai puristusjännitys.
Kuormitusala	Määrittelee jollekin yksittäiselle rakenneosalle, kokoonpanolle tai komponentille osoitetun pinta-alamääräisen kuormituksen alueen, johon vaikuttava pinta-alan mukaisesti määritelty kuorma tai kuormitus vaikuttaa. Muita mahdollisia: kuormitusalue.
Puristuspiste	Molemmin puolin naulalevykokoonpanoa puristettavan naulalevyparin sijainti kaksikulotteisen ristikkokokonaisuuden rakennesuunnitelmassa.

1 JOHDATTELU OPINNÄYTETYÖHÖN

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Tämä opinnäyte tehdään naulalevyristikkovalmistaja Sepa Oy:n toimeksiantamana tutkimustyönä. Naulalevyrakenteiden valmistamiseen liittyy moninaisia tekijöitä ja muuttujia, jotka ohjaavat NR-rakenteiden rakenteellista suunnittelutyötä ja tuotantoprosessia kokonaisuutena. Jokaisen ristikkotilauksen ollessa luonteeltaan erilainen voi tilaus-toimitusketjussa syntyä erilaisia sekaannuksia ja viivästyksiä. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi sellaiset tapaukset, joissa tilausten ristikkokaaviot sisältävät useita eri tuentavaihtoehtoja ja -malleja. Opinnäytetyön aihe valikoitui aiheelliseksi näiden ongelmakohtien pohdinnan lomassa, jolloin päätettiin luoda analyysi tuentojen vaikutuksista NR-suunnittelun piirissä.

Naulalevyrakenteiden suunnittelussa ja myyntityössä tehtävät ratkaisut vaikuttavat kokonaisuutena NR-rakenteen tuotantoprosessiin. Kustannukset naulalevyrakenteelle määräytyvät jo tilaus-toimitusketjun alkupäässä, jolloin NR-suunnittelija mitoittaa ja osoittaa rakenteeseen käytettävät puu- ja levy materiaalit. Myös NR-suunnitelmassa osoitetut tiedot ristikkorakenteen geometriasta ja sauvoituksesta vaikuttavat tuotantoprosessin sujuvuuteen ja vaadittavaan työpanokseen sekä sahaus- että kokoonpanovaiheessa. Nykyisessä kasvavassa markkinatilanteessa (kuva 1), jossa toimitusajat kuluttajille ovat suhteellisen pienet ja kilpailu markkinoista on kiivasta alan toimijoiden kesken, työpanosten ja materiaalien menekkien optimointi on erittäin tärkeää yrityksen toiminnan kannalta. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kohdennetusti verrattain yksinkertaisten ja tavanomaisten harjaristikoiden kustannuksiin ja menekkeihin.

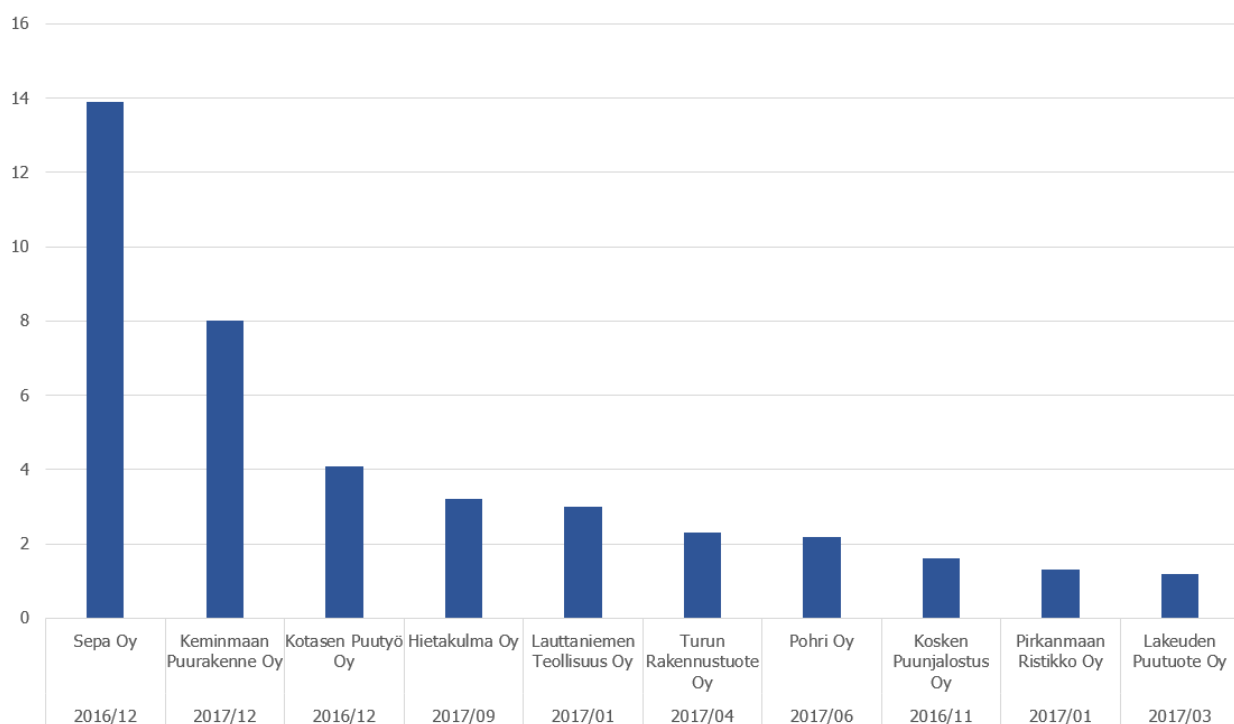


Kuva 1. Rakennustoiminnan kasvuindeksikuvaaja vuosina 2000-2016 sekä ennusteet vuosille 2017 ja 2018. (Valtionvarainministeriö, 2017)

Opinnäytetyön tavoitteena on kerätä luotettavaa ja oikeellista tilastotietoa tuentamallien seurauksista ja merkityksestä yksinkertaisten harjaristikoiden kustannusrakenteeseen erilaisissa yleisesti käytössä olevissa ratkaisumalleissa. Tutkimustöiden perusteella tavoitteena oli myös tehdä erinäisiä johtopäätöksiä ja levittää tietoutta vaikutuksista työpanoksiin ja materiaalimenekkeihin, jotta esimerkiksi myyntihenkilöstö voisi ottaa kustannusrakenteen kokonaisuutena huomioon jo ristikkorakenteen tarjouslaskentavaiheessa. Työn tuloksia voitaisiin käyttää tulevaisuudessa vertaillen erilaisia vaihtoehtoja tuentamalleihin liittyen ja tarjouslaskentaohjelmiston kehittämisessä. Opinnäytetyön tavoitteeksi voidaan myös laskea kokonaisuudessaan naulalevyristikon tilaus-toimitusketjun alkupään tuotantovarmuuden ja sujuvuuden kohottaminen, jotta yrityksen toiminta olisi luotettavampaa ja häiriöiltä prosessin alkupäässä välttyttäisiin tulevaisuudessa.

1.2 Työn tilaajan kuvaus

Opinnäytetyön toimeksiantaja Sepa Oy on valtakunnallisesti merkittävä toimija erilaisten naulalevyrakenteiden valmistajana ja toimittajana suoraan asiakkaalle. Kohdeyritys on perustettu vuonna 1982 ja alkuperältään perheyrittäjä, joka on kehittynyt noin 35 toimintavuoden aikana tuotantokapasiteetiltaan suurimmaksi naulalevyrakenteiden ja kattoristikoiden valmistajaksi ja tuottajaksi Suomessa sekä yhdeksi suurimmista Euroopassa. Sepa Oy:n toiminta keskittyy kahdelle paikkakunnalle kotimaassa, Keiteleelle ja Porvooseen. Yrityksen toiminta perustuu suurelle tuotantokapasiteetille ja keskeisille tuotantopaikkakunnille, jotta toimitukset olisivat nopeita ja edullisia koko Suomessa. Sepa Oy:n kotimainen markkinaosuus on tämän opinnäytetyön kirjoitushetkellä noin 33 %. Kuviossa 1 esitetään Suomessa merkittävien NR-ristikkovalmistajien liikevaihtolukuja kaaviomuodossa sekä lukujen julkaisuajankohta. (Sepa.fi; Yritysesittely, 2017)



Kuvio 1. Kotimaassa toimivien naulalevyristikkovalmistajien liikevaihtolukuja (miljoonaa euroa) (Finder.fi)

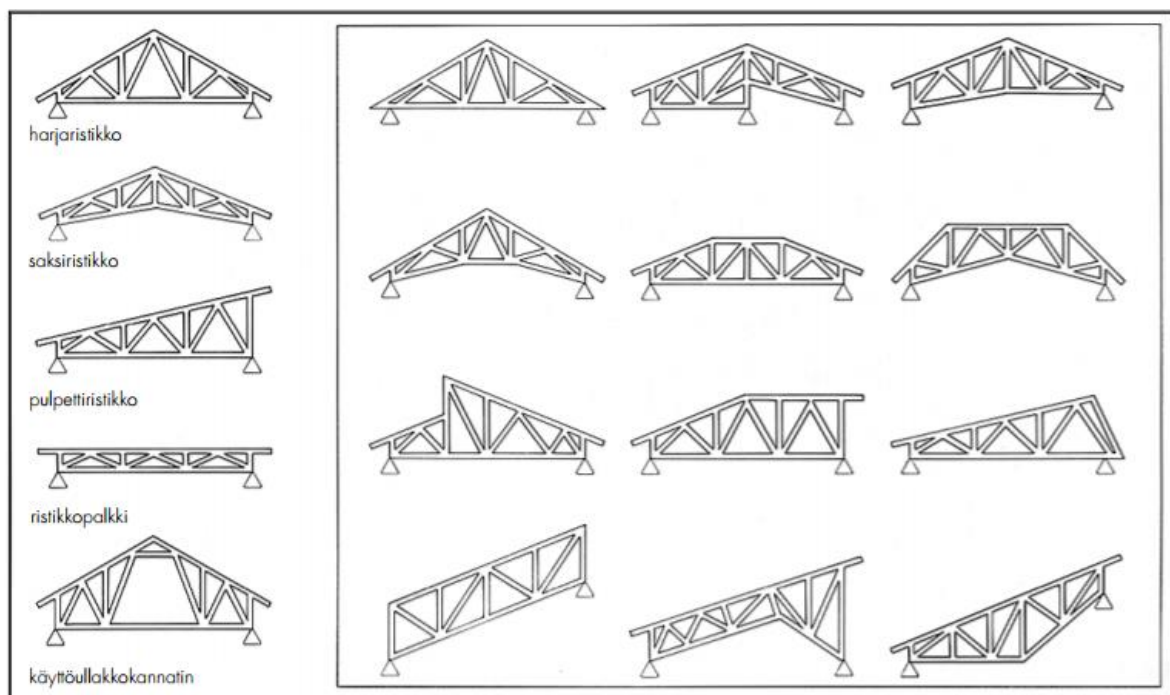
Yrityksen valmistamia tuotteita ovat esimerkiksi erinäiset puurakenteiset kattoristikot ja -pukit, sil-tamuottirakenteet, välipohjapalkit erilaissa muodoissa sekä mitallistettu ja lujuuslajiteltu puutavara erilaisissa muodoissaan. Erikoisempiin yrityksen tuottamiin tuotteisiin kuuluvat meluaidat, palo- ja palokatkoristikot kattokannattimina, pihattoristikot, puubetoniliittolaatat, kevytlaatat, parveke-elementit, runkokehät ja pilarimuotit betonirakenteiden valumuottia varten. Pääasiallisesti yritys tuottaa naulalevyrakenteisia kantavia rakenneosia mitallistetusta höylätystä massiivipuutavarasta. Sepa Oy:n tyypillisiä asiakkaita ovat kotimaiset talotehtaat, rakennus- ja tukkuliikkeet ja yksityishenkilöt. Vuosittain Sepa Oy valmistaa noin 150 000 NR-ristikkorakennetta. (Sepa.fi)

Sepa Oy:n vahvuus markkinoilla verrattuna kilpaileviin ristikkorakennevalmistajiin on esimerkiksi omavarainen NR-suunnitteluyksikkö. Myös itsenäinen höyläys- ja lujuuslajitteluyksikkö tehdasalueella ja tuotantoyksiköiden keskeinen sijainti Suomen kartalla ovat etuja alati kiristyneessä kilpailutilanteessa. Yrityksen arvoihin ja toimintatapoihin lukeutuvat ympäristön kannalta kestävästi toteutettu tuotantorakenne ja innovatiivisuus yhteistyössä alan eri toimijoiden ja oppilaitosten kanssa. Tuotteiden korkea laatu on yksi tärkeimmistä seikoista Sepa Oy:n toiminnassa ja laadunvalvonta- ja tuotekehitysjärjestelmien kehitys onkin ollut viime vuosina suuri ponnistus yrityksen toiminnan edistämiseksi. (Sepa.fi)

Sepa Oy:lle on kotimaassa ainoana naulalevyristikoiden valmistajana myönnetty ISO 9001:2008-standardin mukainen laatujärjestelmäsertifikaatti ja ISO 14001:2004-standardin mukainen ympäristöjärjestelmäsertifikaatti. Kohdeyrityksen valmistamien tuotteiden toimivuutta ja laatua valvoo kansallisesti Inspecta Sertifiointi Oy. Kaikki Sepa Oy:n valmistamat naulalevykokoonpanot ja -ristikot ovat laadunvalvonnan osoituksena NR-leimattuja ja CE-merkittyjä tuotteita.

2 KATTORISTIKOT YLEISESTI

Kattoristikot ovat mitallistetusta rakennepuutavarasta ja teräksisistä naulalevyistä valmistettuja kattokannattimia. Ristikkorakenteen sisään voi jäädä ontelo, joka muodostaa rakennuksen yläpohjarakenteen eristysmateriaaleineen. Tällöin kattoristikko toimii kantavana elementtinä koko yläpohjarakenteessa kannattaen alakattorakenteet ja mahdollisen talotekniikan sekä vesikattorakenteet. Tällaisia ratkaisuja voidaan käyttää esimerkiksi pientalorakentamisessa, jossa massiivisempia kattorakenteita ei tarvita kannattimien rakenteellisen jännevälillä ollessa verrattain pieni. Kattoristikko voi myös toimia normaalitilanteessa vain vesikattokannattimena, jolloin se voidaan asentaa pääasiallisen kannattimen, esimerkiksi betonisen ontelolaataston päälle. Tässä tapauksessa kattoristikko luo yläpohjarakenteeseen ontelotilan mahdollisia lämmöneristeitä ja talotekniikan komponentteja varten kannatellen vain vesikaton kuormia johtaen ne varsinaisille yläpohjan pääkannattimille. Kattoristikko voi myös toimia kehärakenteena sisältäen välipohjapalkkina toimivan sauvan rakenteen alapaarteena. Ristikkorakenne toimii tällöin sekä yläpohjan että välipohjan kannattimena ja muodostaa kehärakenteen elkein myös seinärakenteen rangan.

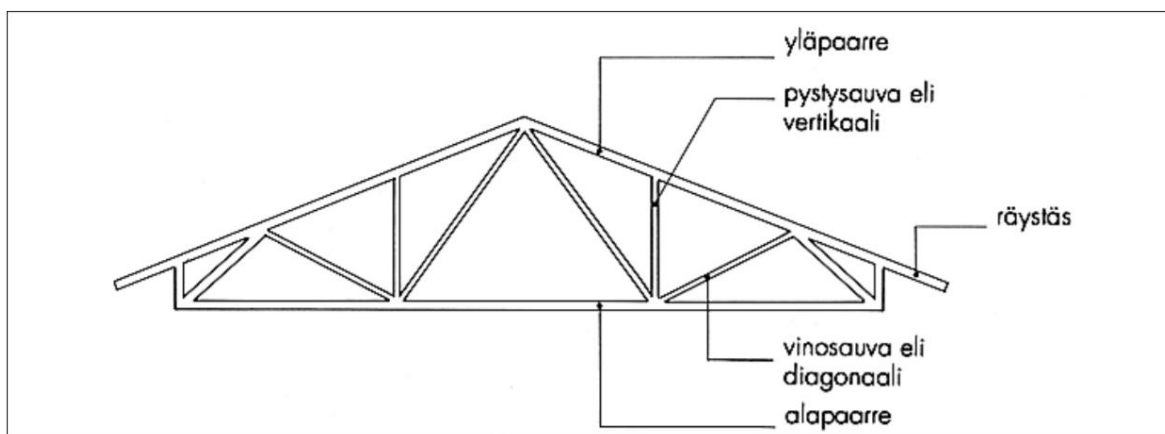


Kuva 2. Naulalevyristikoita kattokannattimena. (Rakennustietosäätiö, 1993, s. 2)

Tehdasvalmisteisia kattoristikoita voidaan valmistaa monen erikokoisia ja -näköisiä. Jokainen tilattu ristikkorakenne edustaa juuri kohteen ominaisuuksia ja onkin sekä suunniteltu että mitoitettu yksilöllisesti juuri tilaajan toiveiden mukaisesti. Suuren kattoristikoiden valmistajan tulee omistaa siis joustava tuotantoyksikkö, jossa moninaisia ominaisuuksia omaavia ristikkorakenteita voidaan valmistaa. Kokonaisuutena kaikkien kattoristikkovalmistajien toimintayksiköiden, esimerkiksi myynti- ja suunnitteluyksikön, tulee palvella tilaajan toiveita ja mukautua toiminnassaan niiden mukaisesti. Jotta tilaajan vaatimuksiin pystytään vastaamaan, naulalevyrakenteiden valmistajilla tulee myös olla käytössään alati muuttuvia olosuhteita varten käyttökelpoisia työkaluja. Esimerkiksi kattoristikoiden tapauksessa tuotehinnoittelussa käytettävä tarjouslaskentaohjelmisto tai -malli tulee olla riittävän kehitty-

tynyt ja tarkka naulalevyrakenteiden myyjähenkilön työkaluna, jotta ristikkorakenteita voitaisiin tarjouslaskennassa hinnoitella kilpailukykyisesti.

Tässä opinnäytetyssä käsitellään tutkimustöiden laajuuden rajaamiseksi verrattain yksinkertaisia harjaristikkoita. Normaalit ja yksinkertaiset harjaristikot ovat yleisimpiä ristikkotyyppisiä naulalevyrakenteiden maailmassa. Harjaristikolla rakenteena tarkoitetaan kahdesta kattolappesta koostuvaa kannatinta, jonka lapesyrrät, toisin sanoen yläpaarteet, ovat vesikatteen muodon luomiseksi kallistettu ristikon harjapisteeltä ulospäin sen reunoille. Kattoristikon alapaarre, eli ristikkorakenteen alapinnassa oleva puusauva on vaakasuuntainen ja suora. Kun harjaristikkorakenne on tuettu alapuolisiin rakenteisiin sen alapaarten äärimmäisistä päätepisteistä, sen jänneväli eli päätepisteiden välinen etäisyys voi valmistajasta riippuen olla jopa 32 metriä. Normaalitapauksessa ristikkorakenteen yläpaarre ei myöskään pääty alapaarten päätepisteeseen, vaan muodostaa rakennuksen räystäsrakenteen rakennuksen sivulle (kuva 3). Normaalin kattoristikon ominaisuuksiin kuuluu sen symmetria ristikon puoliskoiden välillä sen puolivälipisteen suhteen, jolloin lappeiden risteyksessä sijaitseva harjapiste muodostuu ristikon keskelle sen pituussuunnassa. Kuvassa 3 esitetään normaalin naulalevyrakenteisen harjaristikon rakenteellinen muoto, geometrian perusperiaatteet ja ristikkorakenteen osien yleisiä nimityksiä. (Sepa.fi)



Kuva 3. Harjaristikko on malliltaan yleisin naulalevyrakenne. (Rakennustietosäätiö, 1993, s. 3)

Naulalevyrakenteena voidaan jokainen ristikko muotoilla yksilöllisesti tilaajan toiveiden mukaisesti. Huolellisesti optimoituina voidaan ristikkoa ja sen sauvoitusta käyttää tehokkaasti toimimaan yksilöllisissä rakenneratkaisuissa ja -malleissa. Naulalevyrakenteen etuja muihin rakenteellisiin ratkaisuihin verrattuna on ristikon mittatarkkuus, jäykkyys ja keveys. Keveytensä ansiosta varsinkin erilaisten kannattimien siirtäminen ja logistiikkaan liittyvät seikat tekevät siitä helposti lähestyttävän ja huoletoman ratkaisun kantaviksi rakenteiksi. Myös ristikkorakenteiden asennustyöt ovat useimmissa tapauksissa vähäisiä ja vaivattomia verraten vaihtoehtoihin ratkaisuihin. NR-rakenteen toteutettu ratkaisu on verrattain edullinen peilaten muihin kantaviin materiaaleihin. (Rakennustietosäätiö, 1993, s. 1)

2.1 Valmistus ja materiaalit

Sepa Oy:n valmistamat naulalevyrakenteet ovat NR-suunnitelmien pohjalta toteutettuja ja tuotettuja kantavia ristikkorakenteisia rakenneosia. Rakenteet koostuvat lujuuslajitellusta rakennepuusta ja

metallisista kiinnikkeistä ja niiden yhteisvaikutuksesta rakenne saa kokonaisuutena kantavan ominaisuuden. Toimiessaan yhdessä oikein liitettyinä rakenteen liitokset muodostavat voimia siirtäviä liitoksia, joten ristikkorakenne voidaan mitoittaa kestäämään sille annetut kuormitukset. Oikein mitoitettu ja toteutettu ristikkorakenne toimii siis jäykkänä kannattimena, jonka taipumat ovat verrattain pieniä. Jokaiselle ristikkorakenteessa käytettävälle liitokselle ja sauvalle tulee Suomessa tehdä erillinen mitoitus Euronormien mukaisilla kuormituksilla ja laskentamenetelmillä viranomaisen hyväksymällä suunnitteluohjelmalla. Lujuuslajittelusta ja/tai sormijatketusta sahatavarasta valmistetut ristikkorakenteet tulee merkitä ja tuottaa standardin EN14250 mukaisesti (Rakennustietosäätiö, 1993, ss. 1-10; Ympäristöministeriö, 2018, ss. 3-5)



Kuva 4. Naulalevyrakenteiden kokoonpanolinja (Mikkonen, 2018)

Teollisesti tuotettujen puurakenteisien kattoristikoiden valmistus tapahtuu naulalevyrakenteiden valmistukseen erikoistuneissa ristikkotehtaissa. Lujuusluokiteltu ja mitallistettu höyläsahatavara katkotaan ja muotoillaan tehtaan automatisoidulla tietokoneohjatulla sahatekniikalla oikean muotoisiksi ja pituisiksi kapuloiksi.

Naulalevyristikoiden valmistuksessa käytetään pääasiassa kahta eri materiaalia, rakennepuutavaraa ja sinkittyä terästä. Ristikoissa käytetty puuraaka-aine on kohdeyrityksessä pääasiassa ympärihöylättyä ja lujuuslajiteltua rakennepuutavaraa. Suomessa naulalevyristikoiden valmistuksessa käytetty puutavara on lähtökohtaisesti aina kuusisahatavaraa. Puutavara voidaan luokitella koneellisesti lujuusluokkiin C14-C50 tai visuaalisesti luokkiin C18, C24 ja C30 riippuen valmistajasta ja toimintavoista. Yleisimmin käytetyt lujuusluokat rakennesahatavarana Suomessa ovatkin C18, C24, C30, C35

ja C40. Kohdeyrityksen käytössä on myös lujuusluokka C45 vaativia kohteita varten. Sepa Oy:ssä toimii erillinen lujuuslajitteluyksikkö, jossa on valmiudet sekä koneelliselle että visuaaliselle lujuuslajittelulle. (Puuinfo.fi; Sepa.fi)

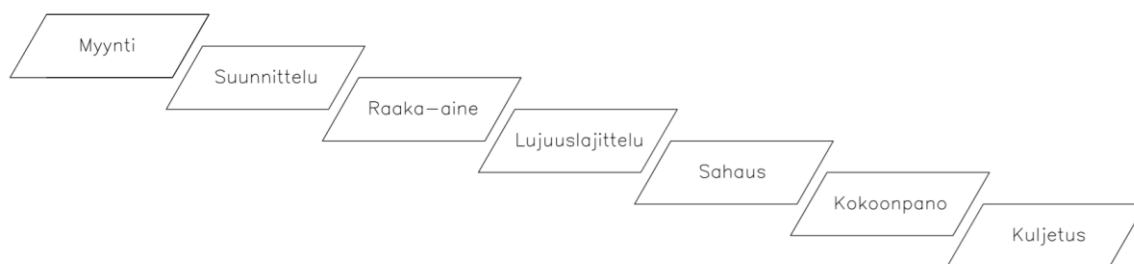
Naulalevyristikoissa käytetyn puumateriaalin paksuus höylättyinä on useimmiten 42 millimetriä. Kuitenkin ohjeistusten mukaisesti yli 18 metriä pitkään ristikkorakenteeseen käytetyn puutavaran paksuus höyläyksen jälkeen tulee olla vähintään 45 millimetriä. Käytettävän puutavaran leveyden sallituksi mittapoikkeamaksi määritellään yksi millimetri. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 6)

NR-rakenteet kootaan metallisten naulalevykiinnikkeiden avulla puurakennekokonaisuudeksi. Naulalevyt ovat kuumasinkittyä ohutrakenneterästä, joiden rakenteellinen lujuusluokitus on S 350. Naulalevyjä voidaan puristaa puutavaraan työhön soveltuvilla puristimilla, esimerkiksi C-puristimilla tai rulapuristimilla. (Mitek.fi)

Naulalevyrakenteiset kattoristikot koostuvat yleisesti mitallistetun höyläsahatavaran ja teräksisten naulalevyliittimien yhteistoiminnasta. Oikein mitoitettuna rakennemateriaalit muodostavat keveän rakenteen kannatellen sille annetut kuormitukset. Naulalevyrakenteet valmistetaan puristamalla teräksiset naulalevyt käytettävään puutavaraan juuri tätä tarkoitusta varten valmistetuilla puristimilla. Tällä menetelmällä teollisesti valmistetut naulalevyristikot ovat kevyitä, jäykkiä ja niiden laskennalliset taipumat ovat vähäisiä. (Rakennustietosäätiö, 1993, s. 1)

2.2 Kattoristikon kustannusrakenne ja tuotantokokonaisuus

Naulalevyristikoiden kustannusrakenne koostuu monista eri tekijöistä ja tuotantokokonaisuuden osista. Ristikoiden kustannukset voidaan jaotella kustannuspaikkoihin, jotka toimivat ristikolle kustannuksia osoittavina yksiköinä. Kustannuspaikat voidaan esittää naulalevyrakenteiden tuotantoprosessin osakokonaisuuksina, koska tuotannon osat toimivat määrittelevinä tekijöinä NR-ristikon kustannusrakenteessa. Jokainen tuotantokokonaisuuden osatekijä toimii kustannuspaikkana määrittäen omalla tavallaan ristikkorakenteen kustannusrakennetta. Kuvassa 5 esitetään naulalevyristikoiden kustannuspaikat sisältävä karkea kuvaus tilaus-toimitusketjusta sen eri vaiheineen tuotantoprosessin osakokonaisuuksina.



Kuva 5. Kattoristikon valmistuksen prosessikuvaus vaiheittain. (Sepa.fi)

Naulalevyrakenteiden ristikkorakenteiden elinkaaren alussa ristikkotoimittaja saa tilaajaosapuolelta tarjouspyynnön ristikon valmistuksesta ja mahdollisesta toimituksesta. Naulalevyrakenteisiin perehtynyt myyjähenkilö esittää tarjouspyynnön perusteella tarjouspyynnön lähettäneelle taholle tarjouksen. Tuotantokokonaisuuden näkökulmasta NR-rakenteiden valmistajan myyntiosasto on ensimmäinen ristikkorakenteen kustannuksia määrittelevä kustannuspaikka. Tilaus-toimitusketju alkaa siitä, kun hyväksytyn tarjouksen perusteella myyjähenkilö lähettää ristikkotilauksen suunniteltavaksi.

Naulalevyrakenteen kustannusrakenteeseen vaikuttavat kustannuspaikat. (Vainionpää, 1991, s. 5)

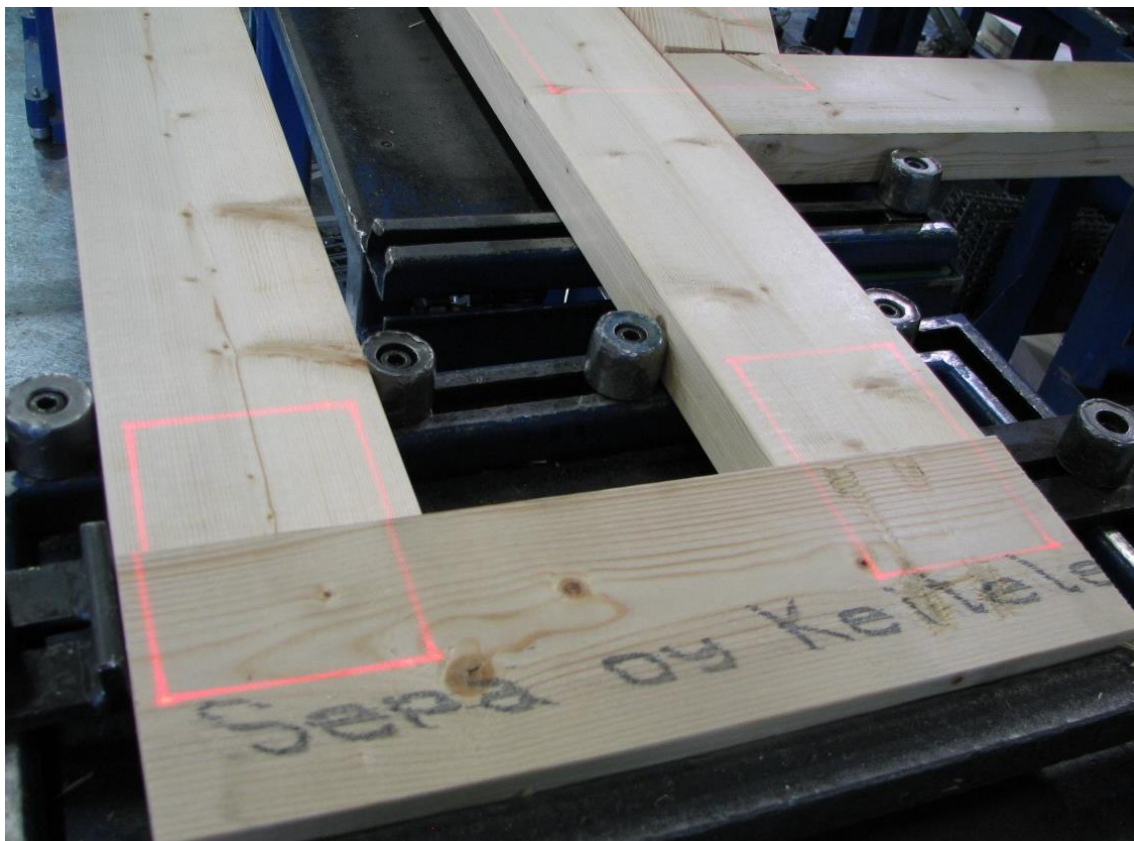
- 1) Myynti
- 2) Hankinta
- 3) Höyläys
- 4) Lujuuslajittelu
- 5) Suunnittelu
- 6) Osat
- 7) Kokoonpano
- 8) Varastointi

Myyntiosaston jälkeen naulalevyrakennetuotannossa seuraava ja merkittävä ristikon kustannuksia määrittelevä kustannuspaikka on suunnitteluyksikkö. Naulalevyrakenteiden suunnitteluun erikoistunut yksikkö suorittaa ristikkorakenteelle lainvoimaisesti Euronormien mukaiset rakenteelliset laskelmat ja osoittaa rakenteen stabiiliteetin kuormitustilanteessa rakenteelle osoitetuilla kuormituksilla. Rakenteen mitoitus tapahtuu tilaajaosapuolen antamilla lähtötiedoilla, joiden perusteella ristikkotarjouskin on annettu. Ristikkosuunnittelija määrittelee rakenteeseen käytettävät puumateriaalit lujuusluokkien ja puudimensioiden muodossa sekä osoittaa ristikkorakenteen geometriset mitat ja sauvoituksen. Suunnittelijan tehtävä on myös määritellä rakenteeseen käytettävien naulalevyjen koot ja sijainnit, jotta ristikko olisi rakenteellisessa mielessä toimiva. NR-suunnitteluyksikön toiminta määrittelee suurimmaksi osin rakenteen materiaalienekit ja rakenteelliset ratkaisut vaikuttavat myös merkittävässä määrin muiden tuotantoprosessin yksiköiden toimintaan.

Seuraavana kustannuspaikkana tuotantoprosessissa on raaka-ainehankinta, jonka tehtävänä on huolehtia, että naulalevyristikoihin tarvittava puu- ja naulalevymateriaali on saatavilla ja käytettävissä seuraavia prosessin vaiheissa. Hankintaprosessin jälkeen rakennepuutavara viedään mitallistettavaksi, lujuuslajiteltavaksi ja höylättäväksi. Koneellisesti tai silmämääräisesti suoritettu lujuuslajittelu suoritetaan vastaamaan ristikkotehtaan käytössä olevia lujuusluokituksia. Kun NR-ristikoihin käytettävä puumateriaali on pituuden mukaisesti mitallistettua, NR-suunnittelija voi työssään ottaa vakiomittaisen puutavaran huomioon.

Jalostettu sahatavara jatkaa lujuuslajittelusta sahausyksikköön, jossa siitä leikataan automatisoiduilla sahausyksiköillä NR-suunnitelmien mukaisia kapuloita ristikkorakennetta varten. NR-suunnitteluyksikkö lähettää sahausyksiköille sähköisesti tiedot leikattavista osista, joten tietokoneohjatulla nykyaikaisella järjestämällä puukappaleita voidaan leikata nopeasti ja mittatarkasti. Sa-

hausyksikkö valmistelee mittaan leikatun ja muotoillun puutavaran seuraavan tuotantoyksikön, kokoonpanolinjaston käyttöön. Naulalevyristikkovalmistajan kokoonpanoyksikkö voi koostua useasta linjastosta, joissa tuotantotyöntekijät valmistavat ristikkorakenteen kokoamalla NR-suunnitelmien mukaisesti määrätyt puukapulat ja naulalevyt puristaen naulalevyt puumateriaaliin kiinni. Kokoonpanolinjoilla voidaan käyttää nykyaikaista lasertekniikkaa (kuva 6), jotta välttyttäisiin tuotantolinjoilla syntyviltä inhimillisiltä virheiltä. Tällä tekniikalla toteutettu heijastus osoittaa kokoonpanotyöntekijälle puukappaleiden ja naulalevyjen sijainnit kokoonpanoasetteessa. Sepa Oy on ensimmäinen yritys maailmassa, joka on kehittänyt lasermallinnusta naulalevyrakenteiden tuotannossa. (Sepa.fi)



Kuva 6. Kokoonpanolinjalla voidaan käyttää laserheijastustekniikkaa. (Yritysesittely, 2017)

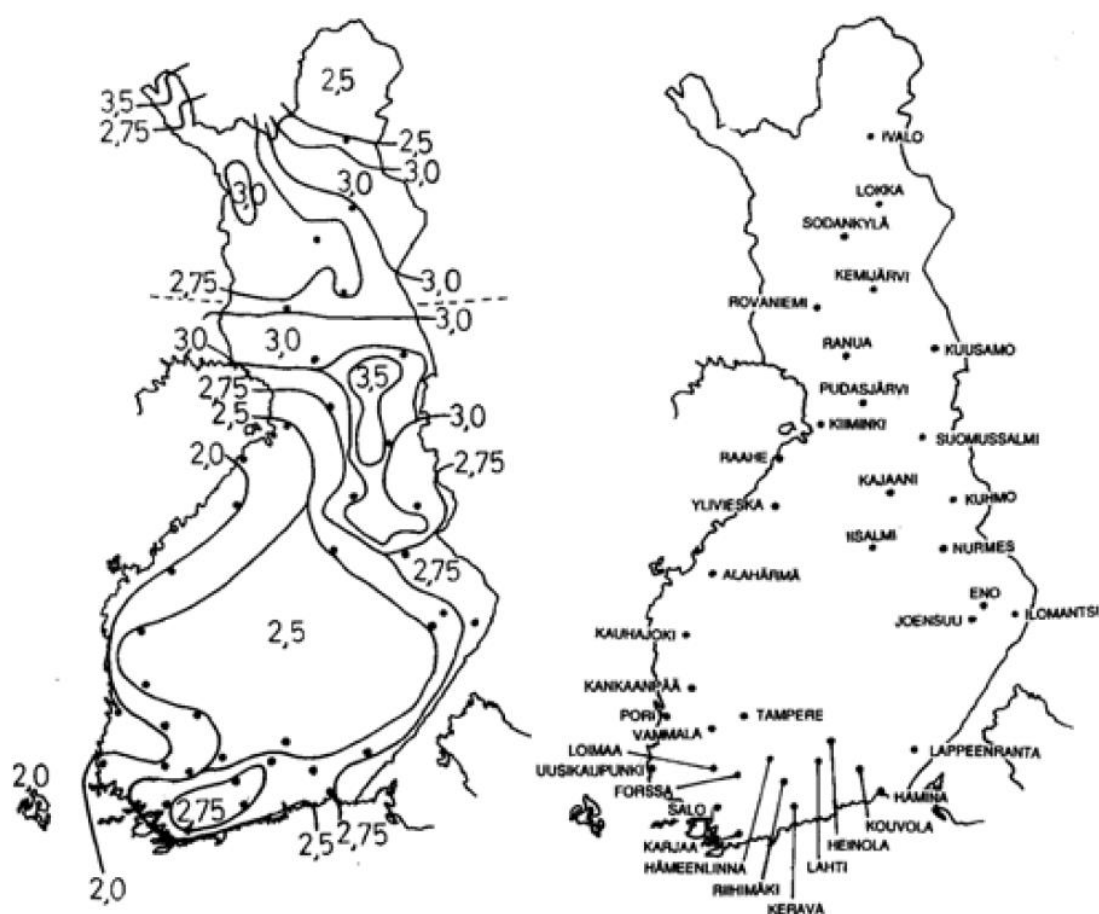
Kokoonpanovaiheen jälkeen ristikkorakenteet voidaan toimittaa suoraan asiakkaalle juuri tätä tarkoitusta varten hankitulla kuljetuskalustolla. Kuljetusprosessi tilaus-toimitusketjussa voidaan ajatella sisältävän kustannuspaikka-ajattelun mukaisesti varastoinnin, jossa valmistetut ristikkorakenteet säilötään asiakkaalle kuljetusta varten merkityille varastointipaikoille. Tuotantoprosessin loppupäässä jo valmistuneiden ristikoiden rahtaus NR-ristikon tilaajalle voi olla sovittuna tilauksessa määriteltynä ajankohtana ja ennen tätä ajankohtaa valmistuneet ristikot tulee säilöä asianmukaisesti kuljetusta varten.

Naulalevyrakenteisen kattokannattimen kustannusrakenne koostuu kustannuspaikkojen lisäksi muistakin rakenteen ja rakennekokonaisuuden ominaisuuksista. Tilauksessa määriteltäviä muuttujia ovat esimerkiksi NR-ristikoiden lukumäärä, määrätyt tuennat, geometria ja materiaalikustannukset. Nämä toisiinsa vaikuttavat osatekijät luovat pohjan kustannusrakennelaskennalle, jotta yksittäisen ristikon kustannukset voitaisiin määrittellä mahdollisimman tarkasti.

2.3 Ristikkorakenteen mitoitus

Kattoristikon, palkkiristikon, jäykistepukin tai minkä tahansa muun kantavassa tai jäykistävässä ominaisuudessa toimivan naulalevyrakenteisen ristikkorakenteen mitoitus perustuu täsmällisiin mitta- ja kuormitustietoihin. NR-suunnittelijalla tulee suunnittelutilanteessa olla tieto ristikkokokonaisuuteen kohdistuvista kuormituksista ja geometriasta, jotta suunnittelutyö voidaan kohdistaa haluttuun kohteeseen. Naulalevyrakenteisiin erikoistunut ja pätevöitynyt suunnittelijahenkilö voi myös toimia ohjeistavana ja konsultoivana osapuolena ristikkorakenteen tilaajaosapuolelle, jotta suunnittelutilanteessa välttyttäisiin epäselvyyksiltä ja ongelmatilanteilta.

Ristikkokokonaisuuden mitoittavana seikkana toimivat rakenteelle osoitetut kuormitukset. Kuormituksia on normaalitapauksessa kolmea eri kuormitustyyppiä: rakenteen omapainosta aiheutuva kuormitus, hyöty- tai käyttökuormat ja tuulikuormat. Suomessa kattokannattimien kuormituksiin luetaan vielä lumikuorma, joka on euronormien määrittelemä aluekohtainen kuormitus. Kuormituksia määriteltäessä tulee rakennekokonaisuuden suunnittelijalla olla tiedossa kohderakennuksen sijainti ja rakennusolosuhteet, koska esimerkiksi maaston ominaisuudet ja maanpinnan muodot vaikuttavat kuormien määrittelyyn. Rakennuksen vesikaton kaltevuus vaikuttaa myös lumikuormaa muokkaavan muotokertoimen muodostumiseen, mikäli rakennuksen katolla ei ole lumiesteitä tai muita liukumaesteitä, kuten kaiteita. (Puuinfo Oy, 2011, ss. 10-12)



Kuva 7. Lumikuormien ominaiskuormakartta Suomessa maanpinnalla. (Puuinfo Oy, 2011, s. 11)

Puurakenteiselle ristikkorakenteelle tulee muiden kantavien rakenneosien tavoin suorittaa sekä rakenteen kestävyyttä ja tasapainoa tarkasteleva murtorajatilamitoitus, että rakenteen kuormitustilanteen muodonmuutosta tarkasteleva käyttörajatilamitoitus. Kuormitukset jaetaan aikaluokkiin, joiden mukaisesti murtorajatilanteen kuormitusyhdistelmissä käytetään mitoituskuormakertoimia. Esimerkiksi kattokannatinristikolle osoitettu rakennuspaikkakohtainen luomikuorma yläpaarteella kuuluu keskipitkään aikaluokkaan. Tarvittaessa naulalevyrakenteelle suoritetaan myös palon aikainen mitoitusanalyysi. Naulalevyristikon palomitoitus suoritetaan rakennuskohteen päärakennesuunnittelijan määrittelemän palonkestovaatimuksen minuuttimäärän mukaisesti. Ristikkokannatinrakenne voidaan mitoitaa joko paloa eristävänä ja yläpohjaa osastoivana palokatkoristikkona tai alapaarteeltaan jatkuvana paloristikkona. Jokaisella edellä mainitulla mitoitus tapahtumalla on omanlaisensa kuormitusyhdistelmänsä, jotka kuvaavat todennäköisyyksien pohjalta kulloinkin vaikuttavia kuormituksia erilaisen kuormakertoimien avulla. (Puuinfo Oy, 2011, ss. 8-15; Rakennustietosäätiö, 1993, s. 4)

Naulalevyrakenteisen ristikkokokonaisuuden rakenteellinen mitoitus tapahtuu asianmukaisella hyväksytyllä NR-rakenteiden suunnittelua varten olevalla laskentaohjelmistolla. Ohjelmiston tulee Suomessa sekä noudattaa voimassa olevia euronormeja ja kansallisia määräyksiä, että olla Inspecta Sertifiointi Oy:n sertifiointitoimielimen hyväksymä. Ristikkorakenteen mitoituksessa tulee edellä mainittujen seikkojen mukaisesti noudattaa seuraavia euronormien mukaisia kuormitus- ja suunnitteluohjeita soveltavine asiakirjoina ja kokoelmineen. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 3)

- Eurokoodi 0 EN 1990: Kuormitusyhdistely
- Eurokoodi 1 EN 1991-1-1: Omapaino ja hyötykuormat
- Eurokoodi 1 EN 1991-1-3: Lumikuorma
- Eurokoodi 1 EN 1991-1-4: Tuulikuorma
- Eurokoodi 1 EN 1991-1-7: Onnettomuuskuormat
- Eurokoodi 5 EN 1995: Puurakenteiden suunnitteluohje

Inspecta Sertifiointi Oy ylläpitää listaa hyväksytyistä Eurokoodi 5 mukaisista naulalevyrakenteiden suunnitteluohjelmista. Kotimaassa sertifioituja NR-suunnitteluohjelmia ovat (Inspecta.fi)

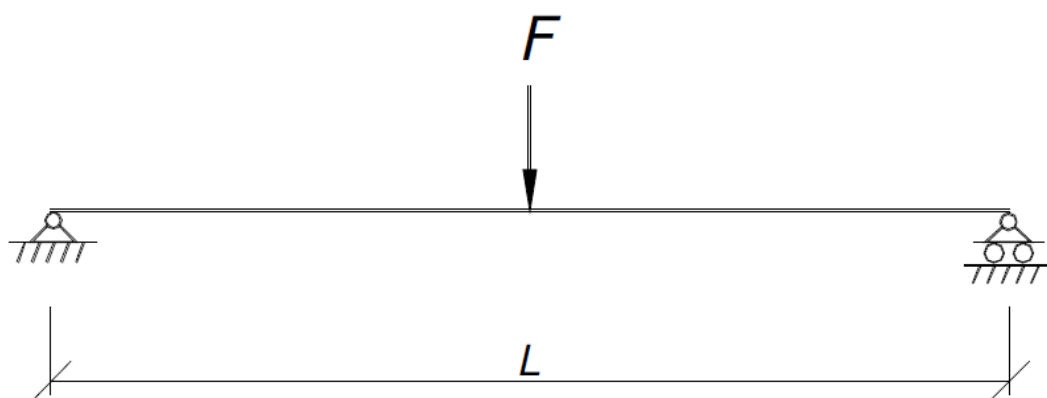
- 3DTrussme
- SepaRoof-Cad
- TrussCon
- WoDe 2000.

Yksi naulalevyrakenteisen kattokannattimen perusominaisuuksista on sen tuentamalli ja tuennat. Jotta ristikkorakenne omaisi stabiiliteetin rakenteellisessa mielessä, tulee se tukea alapuolisiin rakenteisiin voimia siirtävin liitoksin. Naulalevyrakenteet muiden kantavien rakenneosien ja komponenttien tavoin kannatellaan tukipisteiden välityksellä muihin rakenneosiin hallitusti. Tavallisesti NR-ristikko tuetaan lappeelleen tai syrjälleen asetetulle sahatavaran päälle, esimerkiksi liitettynä pientalon pystyrunkorakenteen yläohjauspuuhun. Tapauskohteisesti voidaan käyttää muitakin tukimateriaaleja riippuen rakennuskokonaisuuden geometriasta ja päärunkomateriaalista. Mitoituksellisessa mielessä

varsinkin kooltaan suurten ristikkorakenteiden kannattelussa voi tukipainemitoituksen perusteella olla tarpeellista käyttää kovempia ja kantavampia tukimateriaaleja. Tällaisia voi esimerkiksi olla kertopuu, rakenneteräs tai betoni. (Rakennustietosäätiö, 1993, s. 7)

Naulalevyrakenteiset kattokannattimien kestävyys ja stabiliteetti mitoitetaan murtorajatilassa huomioiden rakenteen kuormituksesta johtuvia muodonmuutoksia. Tällöin ristikkokannatinrakenne mitoitetaan siis jäykkänä kappaleena isostaattisena eli staattisesti määrättyä rakennekokonaisuutena. Rakenteellisessa mielessä tukipisteiden mallintaminen ja mitoitus ristikkokokonaisuudessa tapahtuu nivelellisinä vapaasti kiertävinä tuentoina. Tämä mitoitusmenettely johtaa suurempiin kuormituksiin, jännityksiin ja muodonmuutoksiin yksinkertaisessa yksiaukkoisessa rakenneosassa, jolloin rakennekokonaisuus on stabiliteettia ajatellen suunniteltu varmemmalle puolelle. Kattokannattimen tai muun ristikkorakenteen tuenta ei todellisuudessa vastaa koskaan täysin jäykkää liitosta, joten mitoitusmenetelmässä on edullista tehdä yksinkertaistava oletus liitosten täydellisestä kiertovapaudesta. Tällöin tukipisteiden ja -kiinnityksien mitoitus on myöskin yksinkertaisempaa verrattuna tilanteeseen, jossa ristikon tuennat suunniteltaisiin momenttijäykkinä kiertymättöminä liitoksina. Tukipisteiden välityksellä alapuolisiin kantaviin rakenneosiin siirtyvät mitoituksessa siis vain sekä pysty-, että vaakasuuntaiset voimat. (Sormunen, 2005, s. 3)

Staattisesti määrättyjen rakenteiden mitoitusmenettelyä voidaan soveltaa jäykkiä rakenneosia suunniteltaessa silloin, kun kuormitusten aiheuttamia muodonmuutoksia ei tarvitse ottaa huomioon rakennelaskelmissa. Ristikkorakenteena toteutettu naulalevykokoontuennat on rakenteellisten ominaisuuksiensa ansiosta todettu tällaiseksi isostaattiseksi rakennekokonaisuudeksi. Tällaisessa rakennekokoonpanossa on kaksitukisessa tapauksessa kolme käytössä olevaa tuenta-arvoa, eli estettyä vapausastetta. Vapausaste tarkoittaa jokaista suuntaa, jonka rakennekokonaisuuden yksittäinen solmupiste voi liikkeenä suorittaa. Normaalitapauksessa kaksikulotteisessa laskentamallissa vapausasteita ovat pystysuuntainen, vaakasuuntainen ja kiertävä liike. Tuettuja ja liikkumattomia vapausasteita kaksitukisessa staattisesti määrättyssä rakenteessa on siis kolme: toisessa pysty- ja vaakaliike, toisessa vain pystyliike. Kuvassa 8 esitetään yksinkertaisen vaakasuuntaisen isostaattisen palkkirakenteen rakennemalli. Palkkiratkaisun tuenta on toteutettu kiertovapailla tukipisteillä siten, että vasemmanpuoleinen tuki on vaakasuuntaisesti tuettu tuentapiste ja oikeanpuoleinen vaakasuunnassa liikkuva. (Lampimäki, 2014, ss. 10,19)

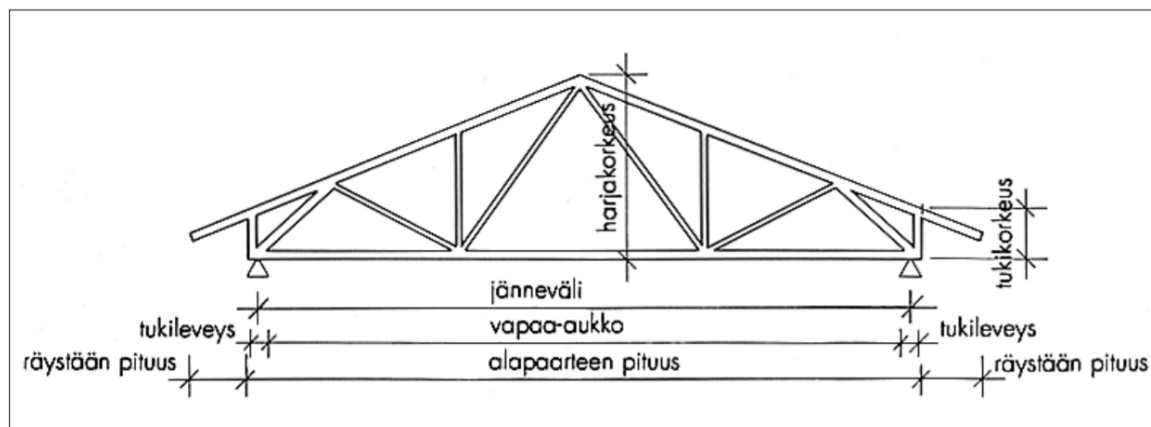


Kuva 8. Staattisesti määrätyn kaksitukisen palkkirakenteen rakennemalli. (Sormunen, 2005, s. 45)

Naulalevyrakenteisten kattokannattimien mitoitus suoritetaan kaksitukisena aina staattisesti määrättyä rakenteena. NR-ristikoiden ollessa mitoitusmielessä jäykkiä rakenneosia voidaan ne mitoittaa huomioimatta rasituksen aikaisia muodonmuutoksia, esimerkiksi pystysuoraa taipumaa. Kun tukipisteitä osoitetaan ristikkorakenteelle enemmän kuin kaksi, ylimääräiset tuennat ovat oletuksena vaakasuunnassa tukemattomia tukipisteitä. Ristikkorakenne mitoitetaan pääsääntöisesti vain yhden vaakasuuntaisesti tuetun tuentapisteen avulla. Tästä poikkeuksena ovat saksiristikkorakenteet, joiden stabiiliteettia tulee mitoitusilanteessa tarkastella myös kaikki määritellyt tukipisteet vaakatuettuina. (Kevarinmäki, 2014, s. 5; Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017, s. 68)

3 TUENTAMALLIEN ANALYYSI

Naulalevyrakenteiden suunnitteluun liittyy erilaisia osatekijöitä, joita suunnittelijan tulee ottaa huomioon työssään. NR-suunnitelmiin voi sisältyä monenlaisia tuentavaihtoehtoja, joita tilaajaosapuoli on mitoitettavalle ja valmistettavalle määrittänyt. Vaihtelevien tuentaolosuhteiden taustalla voi olla esimerkiksi väliseinäratkaisut tai katosrakenteet, joissa kyseeseen voi tulla palkkituenta. Välituentatapauksissa ristikkovalmistajan tehtävänä on myötäillä asiakasosapuolen toivomuksia ja vaatimuksia sekä yhdistellä tuentavaihtoehtoja niiden mukaisiksi tuentamalleiksi. Tuentamallit ovat yhdistettyjä tuentavaihtoehtoja, jotka vaikuttavat ristikon mitoittamiseen ja käyttäytymiseen kuormitustapauksessa. ”Vaihteleviin tuentamalleihin ja välituentoihin liittyviä töitä on NR-suunnittelijan työnkuvasta noin 20 prosenttia” (Lossi, 2018) Tyypillisin tuentamalli on ristikon alapaarteen päätepisteistä tai niiden läheltä tuettu kaksitukinen ratkaisumalli, joka ei sisällä esimerkiksi välituentoja ja palkkiloveuksia. Kuvasta 9 käy ilmi tyypilliselle naulalevyrakenteiselle alapaarteen ääripisteistä tuetulle harjaristikolle määrätyt geometriset ominaisuudet.



Kuva 9. Harjaristikon geometria määräytyy tiettyjen osatekijöiden summana. (Rakennustietosäätiö, 1993, s. 3)

Naulalevyrakenteiden kannattimien tuenta ja kiinnitys toteutetaan normaalitapauksessa massiivipuorakenteiseen rakenneosaan, joka on ristikkorakenteen alapuolella. Jotta tukipisteiden kiinnitys rakenteellisesti kannattimena toimivaan ristikkoon olisi riittävä joka suunnassa, voidaan ristikko joutua kiinnittämään tukipintaan esimerkiksi kulmakiinnikkeillä. Sinkitystä teräslevystä tehdasvalmisteisesti tuotetut kulmakiinnikkeet voidaan naulata tuennan vahvistamiseksi sekä ristikon alapaarteen, että alapuoliseen tukena toimivaan puumateriaaliin tarkoitukseen soveltuvilla kampanauloilla. Kun ristikkorakenne tuetaan naulaamalla kulmalevyjen avulla tukimateriaaliin, tulee naulauksessa välttää vinonaulasta, joka voi aiheuttaa puumateriaalissa halkeilua. (Rakennustietosäätiö, 1993, s. 7)

3.1 Erilaiset tuentamallit

NR-ristikkokokonaisuuden tuenta voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Yleisimmän tapauksen, päistään tuetun kattoristikon, lisäksi tukipisteitä voidaan sijoittaa alapaarteen ääripisteiden välille tai vaihtoehtoisesti määrittää ristikkokannattimelle jatkuva tuenta. Kun tuennan paikka ei ole alapaarteen reunapisteiden välittömässä läheisyydessä, puhutaan välituesta. Välituentatapauksessa ristikko-

osalla olevat kannattimet olla ylimitoitettuja tietyiltä osin. Kokonaisuuden kannalta ristikkotuotanto-prosessissa ristikkorakennekokonaisuuden ollessa yhteneväinen ja yksinkertaisempi voi ristikkorakenteeseen kohdistuvat tuotanto- ja kokoonpanokustannukset olla vertailukohtaa pienemmät.

NR-rakenteisten kattokannattimien suunnittelun ollessa toteutettu jaettuna tuentamallina on jokaisen tuentatapauksen mitoitustapahtuma suoritettu erillisenä ristikkorakenteena. Tällöin yksittäiselle mitoitetulle NR-rakenteelle ei kohdistu useita kuormittavia tuentatapauksia, vaan ristikon rakenteen ja materiaalien optimointi voidaan kohdistaa yhdelle tuentaratkaisulle. Oletusarvoisesti rakenteeseen kohdistettavat materiaalienekit ovat siis pienempiä, kuin vastakohtaisessa tuentaratkaisumallissa. Tässä tapauksessa yleisesti mitoitustyö joudutaan suorittamaan jokaiselle mitoitetulle uniikille rakennekokonaisuudelle erillisesti, joten lähtökohtaisesti suunnittelukustannusten arvioidaan olevan suuremmat, kuin yhdistetyssä tuentamallissa. Myös ristikkorakenteen tuotantovaiheessa syntyvät työkuustannukset voidaan arvioida olevan suurempia, koska kokoonpanovaiheessa kohdistettavat kustannukset jakautuvat useampaan eri asetteeseen. Jokaisen muutettavan asetteen voidaan olettaa lisäävän työkuustannuksia ja -aikaa tuotantoprosessissa.

3.2 Tuentamallien vaikutukset ristikossa

Erilaiset tuentaratkaisumallit voivat aiheuttaa ristikossa erilaisia rakenteellisia muodonmuutoksia. olosuhdemuutoksien johdosta NR-rakenteinen ristikko tulee mitoittaa olosuhteiden mukaisesti siten, että sen stabiliteetti voidaan taata kuormitustilanteessa määrätyillä tuennoilla. Tuentavaihtoehtojen summana syntyy ristikkokokonaisuuden tuentamalli, jonka vaikutukset ovat normaalissa harja- tai saksiristikkorakenteessa materiaalikuustannuksia yleisellä tasolla lisääviä tekijöitä. (Simpanen, 2018) Yleisellä tasolla tavanomaisen vaakasuuntaisen palkkirakenteen välituenta on rakenneteknisesti helppottava tekijä ja vähentää rakenteeseen syntyviä rasitusvoimia teoreettisen jännevälin pienentyessä. Ristikkorakenteisesti toteutettu kannatinpalkkiratkaisu ei kuitenkaan ole rakenteellisilta ominaisuuksiltaan näin yksiselitteinen.

Tuentamallien monimuotoisuudella voi kuitenkin olla erilaisia vaikutuksia ristikkorakenteeseen sen muodon ja tyyppin mukaisesti. Tässä opinnäytetyössä tutkimuskohteena olevien normaaliluontoisten harjaristikoiden tapauksessa oletuksena käytetään tuentaratkaisujen monimuotoisuutta sekä materiaali-, että työkuustannuksia lisäävänä tekijänä kasvattaen ristikkorakenteen kokonaiskuustannuksia. Kuitenkin ristikkotyyppin ollessa jokin muu kuin harja- tai saksiristikko, välituennat esimerkkinä voivat toimia NR-ristikolle rakenteellista stabiliteettia lisäävänä tekijänä. Esimerkiksi käyttöullakko- tai kehäristikkorakenteissa alapaarteelle on määriteltävä rakenteellisessa mitoituksessa hyötykuorma käyttö-tarkoituksen johdosta. Esimerkiksi tavallisessa käyttöullakkoratkaisussa (kuva 11) ristikon alapaarteelle kohdistetaan käyttöullakkotilan kohdalle 200 kg/m^2 hyötykuormitus. Tällaisessa tapauksessa ristikkorakenteelle kohdistetulla välituennalla voi ullakkotilan kohdalla olla ristikon kokonaiskuustannuksia ajatellen vähentävä vaikutus. (Simpanen, 2018)



Kuva 11. Vinoseinäinen käyttöullakkoristikko luo yläpohjaonteloon varastotilaa. (Sepa.fi)

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävien harjaristikoiden käyttäytymistä välituentatilanteissa tarkastellaan erilaisten tutkimuskohteiden kautta määrällisenä tilastotietona. Naulalevyrakenteiden suunnitteluun liittyy monia suunnittelutyötä ohjaavia tekijöitä yksittäisen suunnittelijahenkilön toimintatavoista koko suunnitteluosaston yhteneväisiin toimintatapoihin. Kannatinrakenteiden mitoitustilanteessa suunnittelijan voi työssään ottaa huomioon esimerkiksi erilaisia tuotannollisia tekijöitä ja mitallistetun puutavaran dimensiotietoja. Useamman tuentavaihtoehdon jaetussa tuentamalliratkaisussa ristikkomallia voidaan esimerkiksi kopioida aivan kuin se olisi yhdistetty tuentamalli jo lähtökohtaisesti. Tällaista menettelyä voidaan soveltaa tilanteissa, joissa tuotannollisista ja logistisista tekijöistä johtuen ei ristikkorakennetta ole kannattavaa tai järkevää muotoilla jokaiselle tuentavaihtoehdolle tapauskohtaisesti. Tätä menettelytapaa voidaan kuvailla esimerkiksi sarjoitteluksi, jossa useampi lähtökohtaisesti erillinen tuentavaihtoehto yhdistetään perustellusti yhteneväiseksi rakennekokonaisuudeksi. Ideana on pääpiirteittäin säästää ristikkotuotannon loppupään sahaus- ja kokoonpanokustannuksissa pääasiassa materiaalimenekkien ollessa lähtökohtaisesti suurempia.

Naulalevyrakenteisten ristikkokannattimien mitoitus suoritetaan normaalitapauksessa kaksi- tai kolmitukisena rakenteellisessa seuraamusluokassa CC2. Euronormissa eurokoodi 0 EN 1990 määritetty seuraamusluokka pyrkii määrittelemään ja ottamaan huomioon rakennuksen riskit sortumisen tai vioittumisen kannalta. Seuraamusluokka määrittelee rakenteiden mitoituksessa käytettävien kuormitusyhdistelmien sisältämän kuormakertoimen K_{F1} . Seuraamusluokka CC2 määrittellään eurokoodiin perustuvassa puurakenteiden suunnitteluohjejulkaisussa RIL 205-1-2017 seuraavasti: *"Keskiuuret seuraamukset ihmishenkien menetyksen tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia"*. (Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017, s. 28)

Kun kantavassa ominaisuudessa toimiva NR-rakenteinen kannatinrakenne tuetaan alapuolisiin rakenneosiin jatkuvana tuentana, tulee mitoitustyössä soveltaa seuraamusluokkien käyttöä. Jatkuvatukiset naulalevyristikon katto- ja yläpohjakannattimena voidaan sovellettavasti mitoittaa seuraamusluokassa CC1. Edellä mainitun seuraamusluokan käytön perusteena on eurokoodin sisältämä määrittely ja esimerkki seuraamusluokan CC1 käyttökohteista: *"ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne"*. Tilanteessa, jossa seuraamusluokan alennusta päätetään jatkuvan tuennan tapauksessa käyttää, tulee suunnittelijahenkilön varmistua yläpohjarakenteen oikeellisuudesta ja soveltuvuudesta vesikattokannattimen tukemiseen. Tällaisessa tilanteessa jatkuva-

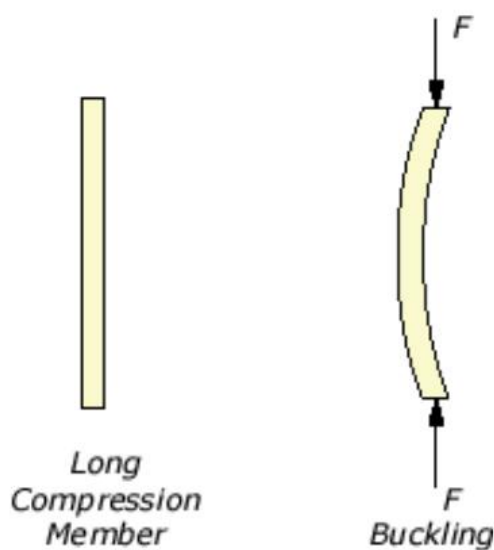
tukinen naulalevyristikko voidaan tukea esimerkiksi betonirakenteisen ontelolaataston päälle, jossa ontelolaatasto on varsinainen kantava rakenneos yläpohjassa. Tällöin puurakenteisen vesikattokannattimen sortuma ei aiheuta merkittäviä ihmishenkien menetyksiä ja taloudellisia vahinkoja.

(Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017, s. 28)

3.2.1 Nurjahdustuenta

Sauvan tai kappaleen nurjahdustuenta tarkoittaa puristetussa kuormitustilanteessa olevan sauvan tukemista sen poikkisuunnassa siten, että puristusvoima ei aiheuta kuormitustilanteessa kuormitettavan objektin stabiiliteetin menetystä. Nurjahdustapahtuma aiheutuu siis tilanteessa, kun esimerkiksi tukemattoman sauvan suuntainen puristava normaalivoima on tarpeeksi suuri aiheuttamaan sen stabiiliuden menettämisen (kuva 12). Mikäli yksittäinen sauva menettää puristustilanteessa stabiilitteettinsa, voi se vaikuttaa koko rakennekokonaisuuteen ja sen toimivuuteen kuormitustilanteessa. Sauvan nurjahtaessa se menettää sille annetut kantavat ominaisuudet, jolloin kuormituksessa rakennusosa tai kokoonpano joutuu muilta osin suuremmille kuormille. Tällainen ketjureaktio voi aiheuttaa esimerkiksi kokonaisen rakenteellisen kannatinkentän romahtamisen kuormitustilanteessa.

Nurjahdusreaktio rakenteellisessa sauvassa määräytyy sen erilaisten ominaisuuksien perusteella, joten mitoitus tapahtumassa suunnittelijan tulee tietää kappaleen mitoituksellisesti tärkeät ominaisuudet. Rakenneteknisen nurjahdusmitoituksen muuttujia ovat esimerkiksi kappaleen nurjahduspituus, poikkileikkauksen jäyhyysäde ja materiaalitiedot. Sauvan nurjahduspituus määräytyy itse sauvan pituudesta ja kuormitustilanteessa vallitsevista tuentaolosuhteista sauvakappaleen ääripisteissä. Nurjahdavan sauvakappaleen, joka ei ole tuettu nurjahdusta vastaan, nurjahdusreaktio tapahtuu sen heikomman taivutusjäykkyyden suunnassa. Pääpiirteittäin ominaisuuksista voidaan todeta, että mitä pidempi ja hoikempi sauva tai kappale on, sitä helpommin se nurjahtaa ja menettää stabiilitteettinsa kuormitustilanteessa. Myös materiaalin rakennetekniset lujuusominaisuudet vaikuttavat nurjahdusominaisuuksiin. (Puuinfo Oy, 2011, ss. 26-27)

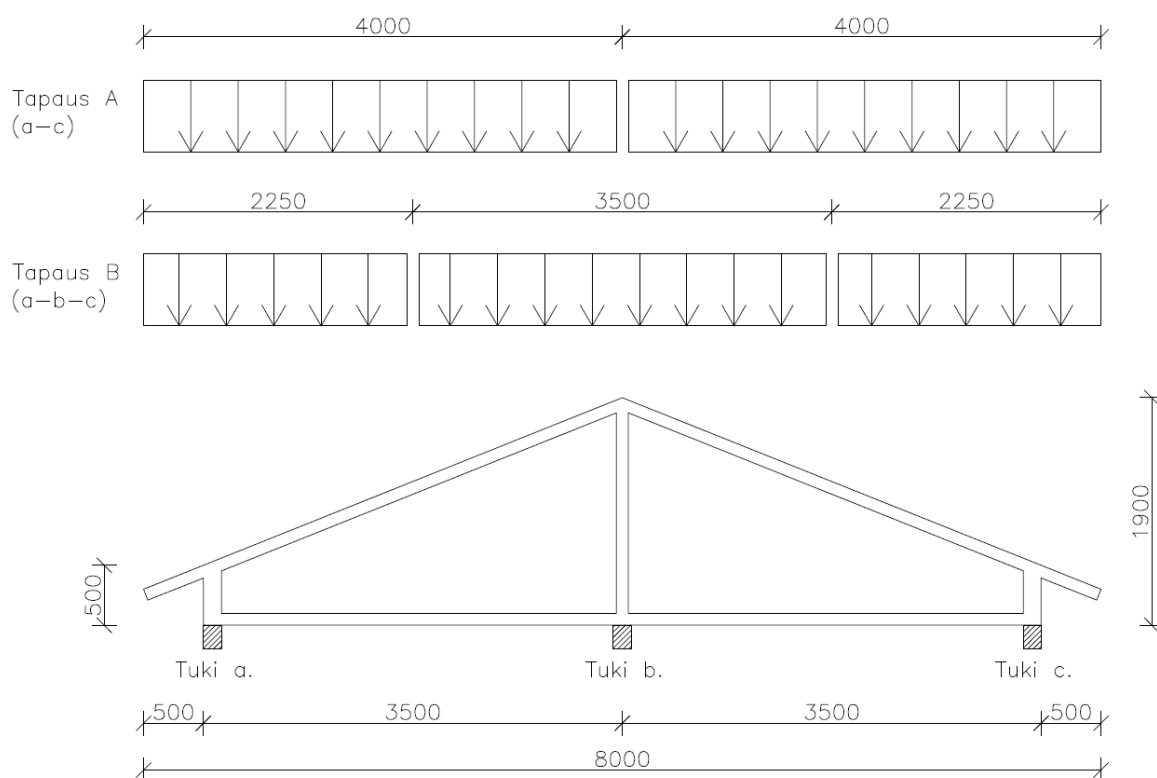


Kuva 12. Nurjahdustapahtuman (buckling) periaatekuva normaalivoiman F johdosta. (Efunda.fi)

Naulalevyrakenteisissa ristikkokannattimissa voi sauvoja olla useita. Mitoituksellisessa mielessä ristikkokokonaisuuden yksittäisillä sauvoilla on jokaisella oma tehtävänsä ja kuormituksensa rakenteellisen kannattimen toiminnassa. Tietyssä kuormitustilanteessa jokin sauva voi esimerkiksi olla vedetyssä ominaisuudessa ja joku toinen puristetussa ominaisuudessa, kun vertaillaan kokoonpanon sauvoissa vaikuttavia normaalivoimia. Jokaisella sauvalla on naulalevyrakenteen kantavan ominaisuuden mitoituksen perusteella oma tehtävänsä, jotta kannatin toimi sille määrättyssä ominaisuudessa ja olosuhteissa oikein. Jotkin ristikon osat voivat olla rakenteellisen mitoituksen perusteella osoitettu nurjahdustuettaviksi, jotta ne toimisivat kuormitustilanteessa kantavassa ominaisuudessa oikealla tavalla. Mikäli NR-ristikon, esimerkiksi kattokannattimen yksittäisen sauvan nurjahdustuenta laiminlyödään, voi koko rakennekokoonpanon kannattelukyky kuormituksille olla murto-osa sille osoitetuista suunnittelukuormista. (Sepa Oy, Naulalevyrakenteiden tuentaohje, s. 7)

Välituentojen tapauksessa ristikkorakenteen mitoituksellinen luonne muuttuu. Rakenteellisen mitoituksen kannalta välitukisissa ristikoissa alapaarteen solmukohta tulee usein sijoittaa välituennan kohdalle. Solmukohdalla naulalevyrakenteiden ja tämän opinnäytetyön yhteydessä tarkoitetaan puusauvojen risteämispistettä, johon naulalevy sijoitetaan sitomaan puukappaleet kiinni rakennekokonaisuuden luomiseksi. Mitoituksen kannalta tämä menettely voi synnyttää ristikkorakenteeseen pitkiä puristusominaisuuksia olevia sauvoja. Tavanomaisen harjaristikkorakenteen geometria perustuu siihen, että sen keskilinjalle tai sen läheisyyteen syntyy vesikattokentän harjalinja. Tällöin korkein kohta ristikossa on sen keskiosissa. Kun tuentapiste sijaitsee lähellä ristikkorakenteen keskipistettä, voi rakenteeseen syntyä nurjahdusvaaran alaisia yksittäisiä sauvoja.

Kuvasta 13 käy ilmi, kuinka yksinkertaistetun kuormitusperiaatteen mukaisesti nurjahdussauvat yksinkertaisessa ja tavanomaisessa harjaristikossa voivat syntyä. Tässä tarkastelussa alapaarteen solmupiste on sijoitettu harjalinjalla sijaitsevan pystysauvan mukaisesti tukipisteen päälle. Harjaristikkokannattimen keskiosissa sijaitsevat pysty- ja diagonaalisauvat altistuvat suuren kuormitusalan johdosta suurille kuormituksille. Vaikka kuormitusala ei ole yhtä suuri verrattuna päistään tuetun mallin tukipisteiden kuormitusleveyteen, keskiosassa sijaitseva pystysauva voi olla pituudeltaan moninkertainen päätysauvoihin verrattuna. Keskiosien sauvakappaleet ovat harjaristikkorakenteen tapauksessa huomattavasti pidempiä verrattuna reunaosien sauvoihin, jossa yläpaarre sijaitsee matalammalla. Sauvakappaleen pituuden ollessa yksi merkittävä tekijä nurjahdusominaisuuksien määrittelyssä voi välituentatapauksia seurata mitoituksellinen nurjahdustilanne, jossa ristikon yksittäinen sauva määrätään nurjahdustuettavaksi lopullisen tuotteen asennuksessa.



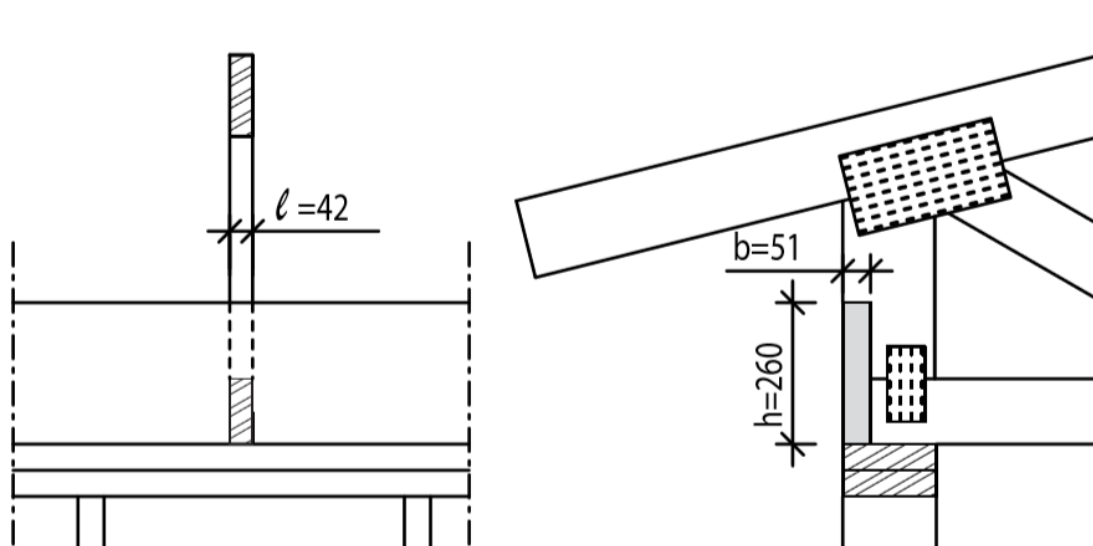
Kuva 13. Yksinkertaistettu kuormitusperiaate.

Nurjahdustapahtuman muodostuminen ei todellisessa NR-ristikon mitoitustilanteessa kuitenkaan ole näin yksinkertainen. Teoreettinen kuormitusten jakautuminen rakenteellisesti rakennekokoonpanon eri osille muodostuu monivaiheisen mitoitusprosessin tuloksena. Kuormien jakautumiseen ristikkorakenteessa vaikuttaa aina suunnittelutyön tuloksena tuotettu ristikkorakenteen rakenteellinen malli, joka määrää rakennekokonaisuuden geometrian ja sauvoituksen. Tässä opinnäytetyössä käytetty teoreettinen ja yksinkertaistettu kuormitusalueäärityksen periaatemalli välituentatapauksen nurjahdusalttiudesta on suuntaa antava analyysi ristikon todellisesta rakenteellisesta toiminnasta. Ristikkorakenteen geometrisella suunnittelutyöllä voidaan vaikuttaa ja ohjata epätoivottujen rakenteellisten muodonmuutosten, kuten nurjahdusreaktion syntymistä. Myös käytettävän rakennepuutavaran lujuusluokituksella voidaan tietyissä tapauksissa vaikuttaa nurjahdustapahtumien määrään ja syntymiseen naulalevyrakenteisessa ristikossa.

Naulalevyrakenteisten kattokannattimien rakenteellisessa mitoituksessa nurjahtavien sauvojen ja nurjahdustuentojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon nurjahdussauvoina käytettävien sauvojen ominaisuudet ja lukumäärä. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti poikittaisesti nurjahdustuettavien ristikkokokoonpanon sisäpuolisten sauvojen ja kappaleiden korkeus tulee olla vähintään 120 millimetriä. Ristikkorakenteiden kannatinkokoonpanojen sisältämien nurjahdustuettavien sisäsauvojen lukumäärää on myös rajoitettu ristikkorakenteen kokonaispituuden L mukaisesti. Nurjahdustuentojen kokonaislukumäärä ei saa ylittää arvoa $1 + L/5$. Esimerkiksi kahdeksan metriä pitkässä NR-kattoristikossa nurjahdustuettavien sauvojen suurin sallittu lukumäärä on $1 + 8/5 = 2,6$ (2) nurjahdustuettavaa sauvakappaletta. (Ympäristöministeriö, 2016, s. 14)

3.2.2 Tukipainemitoitus

Naulalevyrakenteisen kannatinristikko tuetaan mitoituksellisessa mielessä sen alapuolisiin rakenteisiin vastaanottamaan ristikkorakenteen kautta kulkeutuvia kuormituksia pysty- ja vaakasuunnassa. Pystysuuntaiset kuormitukset ja voimasuureet aiheuttavat ristikkorakenteen tukipisteiselle rakenteiden välille tukipaineen. Varsinkin puurakenteisissa rakenneosissa tukipaineen mitoitustapahtuma on kriittinen rakennekokonaisuuden ja eri rakenneosien toimivuuden kannalta.



Kuva 14. Pystykuormista muodostuva puristusjännitys eli tukipaine kohdistuu NR-kattoristikon ja kantavan seinärakenteen kontaktipintaan. (Puuinfo Oy, 2010, s. 23)

Puurakenteisissa rakenneosissa tukipainemitoitus tapahtuu tietyn puristuspuunta-alan puristusrasituksen kestävyystarkasteluna. Puumateriaalin perusominaisuuksien johdosta lujuusominaisuudet puutavaran syysuuntaan ovat erilaiset verrattuna kohtisuoraan syysuuntaa vastaan. Näin ollen puumateriaalin kuormituspuunta vaikuttaa yleisesti mitoittaviin jäykkyyss- ja tiheysominaisuuksiin havupuisessa rakennesahatavaraissa. Puristuskestävyyttä ajatellen lujuusominaisuuksien eroavaisuudet kuormituspuuntien välillä ovat huomattavat. Taulukosta 1 käy ilmi, kuinka puristusjännityksen kuormituspuunta vaikuttaa puristuskestävyyteen havupuisten rakennesahatavaran tavanomaisissa lujuusluokissa.

Taulukko 1. Tavanomaisten lujuusluokitusten ominaispuristuslujuus (Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017, s. 51)

Rakennesahatavaran lujuusluokka		C24	C30	C35
Puristuslujuuden ominaisarvot (N/mm ²)				
Syysuunnassa	$f_{c,0,k}$	21	24	25
Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan	$f_{c,90,k}$	2,5	2,7	2,7

Edellä olevasta taulukosta voidaan todeta, että naulalevyrakenteisen puuristikkorakenteen sauvoituksella voidaan vaikuttaa tukipainekestävyyteen ristikkokannattimen tuentapisteissä. Taulukon 1 mukaisia rakennesahatavaran lujuusluokkia tarkastellessa käy ilmi, että vertailukohtien keskiarvona puristuslujuuden ominaisarvo puutavaran syysuuntaan on lähes yhdeksänkertainen verrattuna ominaispuristuslujuuteen kohtisuoraan syysuuntaa vastaan. NR-ristikkorakenteen tukipainekestävyyttä voidaan siis todeta parantavan menettelytapa, jossa rajatapauksissa rakenteen tukipisteeseen muodostuva tukipainejännitys osoitetaan ristikkokannattimen sauvaan, johon kuormitukset vaikuttavat sen syysuunnassa.

3.2.3 Materiaalimenekit

Kun naulalevyrakenteiden toteutukseen ja suunnitteluun liittyy välituentoja ja muuttuvia tuentatapoja, voidaan mitoituksellisesti joutua poikkeamaan tavanomaisen päistään tuetun ristikkorakenteen geometrisesta mallista (kuva 10). Rakennekokoonpanon solmupisteiden ollessa sijoitettuna epäedullisesti ajatellen esimerkiksi nurjahdusreaktioiden syntymistä voidaan rakenteiden mitoituksessa joutua lisäämään NR-ristikoihin käytettävän rakennepuutavaran kokoa tai lujuusluokkaa. Tällaista menettelyä voidaan joutua käyttämään esimerkiksi verrattain suurissa kattoristikoiissa, joissa tuentaolosuhteet aiheuttavat nurjahdussauvojen lukumäärärajoituksen ylittymisen. Lisätty puutavaran määrä voi vaikuttaa olennaisesti ristikkokannattimen kokonaiskustannuksiin lisäävänä tekijänä.

3.2.4 Työmenekit

Naulalevyrakenteisen ristikkorakenteen tuotantovaiheessa jokaiselle erilaiselle ristikkotyypille joudutaan tekemään erillinen asete lopullisen ristikkotuotteen kokoonpanoa varten. Kun NR-ristikkokannattimen geometrinen malli muuttuu vaihtelevien tuentaolosuhteiden johdosta, voivat tuotantokustannukset kokoonpanovaiheessa nousta lisääntyvien työvaiheiden johdosta. Välituentatapauksissa tukipisteen luova kantava rakenneosa, esimerkiksi väliseinä tai palkki, ei välttämättä ulotu rakennuksen koko pituudella kattokannattimien alla, jolloin vain osalle naulalevyristikoista syntyy välituenta.

Työmenekkejä ajatellen kustannusten nousu vaihtuvien tuentatapauksien tilanteissa kohdistuvat pääasiassa naulalevyrakennetuotannon loppupäähän, tarkennettuna tuotantovaiheeseen. Vaihtuvien tuentamallien ja välituntojen suunnittelussa ja myyntivaiheessa voi kuitenkin syntyä ylimääräisiä työkustannuksia verrattuna tilanteeseen, jossa kyseessä olisi tavanomainen ääripisteistä tuettu ristikkorakenne.

3.3 Tuentamallien huomioiminen tuotehinnoittelussa

Välituentatapauksissa naulalevyrakenteiden hinnoittelussa tuentamallien vaikutuksia voidaan pyrkiä ottamaan huomioon monin tavoin. Tuentamallien tuotehinnoittelussa voidaan käyttää esimerkiksi tilastolliseen pohjatietoon perustuvia kertoimia kuvaamaan varioituvien tuentaolosuhteiden kustannuksia naulalevyristikon tuotannossa, suunnittelussa ja materiaaleissa. Hinnoitteluperiaate voi myös perustua myyjähenkilön omaan ammatilliseen arvioon ristikkokannattimen kustannusrakenteesta

useamman tuentavaihtoehdon tapauksessa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää ja jäsenellä kohdeyrityksessä käytössä olevia menetelmiä NR-ristikoiden tuotehinnoitteluun. Menetelmäkehitys pohjautuu tässä opinnäytetyössä käytettäviin tutkimuksiin ja niiden jäseneltyihin tuloksiin.

Kohdeyrityksen käytössä oleva tarjouslaskentaohjelmisto ei lähtökohtaisesti huomioi välituennan vaikutuksia ristikkokokonaisuuden kustannusrakenteeseen. Tavallisesti ilman ennakkotarjouslaskentaa tai -suunnittelua suoritettu tarjouslaskentatapahtuma perustuu vaihtelevien tuentamallien tapauksissa myyjähenkilön henkilökohtaiseen laskentamekaniikkaan tai ammatilliseen arvioon. Tämä menettelytapa voi aiheuttaa tuotehinnoittelussa tapaus- ja myyjähenkilökohtaisia eroavaisuuksia. Tässä opinnäytetyössä esiteltävät tutkimustulokset ovat tarkoituksellisesti pyritty kohdistamaan kohdeyrityksen myyjähenkilöiden käyttöön, jotta laskentamekaniikkaa tarjouslaskentatilanteessa voitaisiin kehittää ja yhtenäistää. (Simpanen, 2018)

Yleisesti lisätuennat ja vaihtelevat tuentaolosuhteet ovat kattokannattimena toimivan NR-ristikon kustannuksia lisäävä osatekijä sen kustannusrakenteessa. Tuentamallien kustannusrakennetta voi olla kannattavaa huomioida rakennekokoonpanon tuotehinnoittelussa jo tarjouslaskentavaiheessa, jolloin ristikkorakenteen kokonaiskustannukset pyritään arvioimaan mahdollisimman tarkasti. Kustannusten muodostumista ja tarkkaa muutosta on kuitenkin vaikea arvioida, mikäli kantavan ristikkorakenteen statiikan tuntemusta ei ole. Perusajatuksena voidaan todeta ääripisteistään tuetun ristikkorakenteen olevan edullisin ratkaisu verrattuna välituellisiin ratkaisumalleihin. (Vainionpää, 1991, s. 15)

Ajanottotutkimukset sisältävät neljä erilaista verrattain yksinkertaista harjaristikkoa. Tässä opinnäytetyössä käsitellään siis tyypillisintä ristikkorakenteisen kattokannattimen muotoa, harjaristikkoa (kuva 15). Jokaiselle luodulle ristikkokaaviolle määritellään tyypillisiä kattoristikon ominaisuuksia, kuten vesikaton katemateriaali, lumikuorma ja erilaisia kuormitustapauksia. Jokainen tutkimustyö sisälsi välituentatapauksen, jossa tukipiste oli määritelty ristikon alapaarteelle lähelle ristikon keskipistettä (taulukko 2). Tutkimusristikoille annetut lähtöarvot eivät olleet yhteneväisiä. Tällä menettelytavalla tutkimustyölle haetaan laajuutta käsittämään suuremman määrän erimallisia kattokannattimia, vaikkakin tutkimustyön tarkkuus kärsii työn variaatioiden johdosta. Tämän tutkimusmenetelmän tulokset ovat kuitenkin tarkoitettu sovellettavaksi naulalevyrakenteiden pätevytyneelle suunnittelijahenkilölle.

Taulukko 2. Opinnäytetyön toiminnallisissa tutkimuksissa käytetyt tuentatapaukset työnumeroittain.

Työnumero	Alapaarremitta (mm)	Päätepisteistä tuettu	Välituettu	Jatkuvatukinen
amiont:1	4160	X	X	X
amiont:2	7700	X	X	X
amiont:3	8200	X	X	X
amiont:4	12780	X	X	

Tutkimuksessa kerätään työaikamenekin lisäksi seuraavia materiaalimenekkien määrätietoja yhdestä ristikkoyksiköstä:

- 1) käytettävän puutavaran tilavuus
- 2) rakenteen kokonaismassa
- 3) naulalevyjen puristuspisteiden lukumäärä
- 4) käytettävien naulalevyjen pinta-ala

Tämän opinnäytetyön ajanottotutkimuksissa käytettävien harjaristikkokannattimien lähtötietokaaviot sisältävät yleisesti useita eri tuentavaihtoehtoja.

Tutkimustyö tehdään hallitusti kaikkien tutkimukseen osallistujien kanssa samalla suunnittelutyöpis-
teellä, jotta tekniset erot eivät tulisi ilmi ajanottotutkimuksessa. Osallistujille jaetaan myös täysin yh-
denmukaiset ristikkokaaviot, jotta tutkimustulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään ja niiden poh-
jalta voitaisiin luoda tilastollisia keskiarvolukemia sekä määrälliseen tietoon perustuvia taulukoita ja
kuvaajia.

4.2 Kyselylomakehaastattelu

Opinnäytetyön tutkimusmuotoihin kuuluu kohdennettu kyselylomakehaastattelu. Haastattelumuodon
valinta perustuu laajan mielipideotannan kokoamiseksi opinnäytetyön taustalla piileviin pulmiin ja
kysymyksiin. Tutkimuksen tarkoitus on kartoittaa ja hankkia tietoa yleisistä mielipiteistä ja henkilö-

kohtaisista kokemuksista kohdeyrityksen sisällä vallitsevista olosuhteista ja toimintatavoista liittyen tuentamalleihin. Kyselyhaastattelu toteutetaan kohdennetusti sekä naulalevyrakenteiden suunnitteluyksikön että myyntiyrityksen työntekijöille, jotta mielipidejakaumassa voitaisiin ottaa huomioon vastaajan ominaisuus ja työnkuva kohdeyrityksessä. Kyselylomakkeita jaetaan myös muihin työskentelyosastoihin hallitusti, mutta näitä ei ominaisuusjaottelussa oteta erillisinä luokitteluina huomioon. Tässä tutkimustyössä kyselylomakkeen muodossa tehty haastattelu todettiin tarpeelliseksi, koska tutkimustuloksia on tarkoitus käsitellä tilastollisen analyysin keinoilla. (KvaliMOTV)

23. Kohtaan työssäni usein (lähes päivittäin) tilanteita, joissa välitukiin liittyvät ratkaisut vaikuttavat mielestäni kyseenalaisilta.

- ☐ Täysin samaa mieltä
- ☐ Osittain samaa mieltä
- ☐ Ei samaa eikä eri mieltä
- ☐ Osittain eri mieltä
- ☐ Täysin eri mieltä

Kuva 16. Kyselylomakehaastattelussa esiintynyt väittämä.

Lomakemuotoinen kyselyhaastattelu toteutetaan paperimuotoisena lomakkeena, johon ensimmäisenä vastaaja määrittelee oman henkilökohtaisen ominaisuutensa kohdeyrityksen toiminnassa. Tämän jälkeen vastaajahenkilö vastaa lomakehaastattelun väittämiin esittämällä annetun asteikon mukaisesti oman henkilökohtaisen mielipiteensä tutkittavaan asiaan ja asiakokonaisuuteen. Vastausvaihtoehdot ovat kuvan 16 mukaisesti annettu kyselyyn vastaajalle viitenä eri vaihtoehtona. Vastaajalta tiedustellaan haastattelulomakkeen lopuksi myös vastaajan lomakkeen julkaisuoikeuksista tässä opinnäytetyössä ja sen tuloksissa.

4.3 Puolistrukturoitu haastattelu

Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmiin kuuluu puolistrukturoidussa formaatissa toteutettava teemahaastattelu. *"Puolistrukturoitu haastattelu etenee niin, että kaikille haastateltaville esitetään samat tai likipitään samat kysymykset samassa järjestyksessä"*. (KvaliMOTV) Puolistrukturoitu haastattelumuoto teemahaastattelun tavoin kysymysten järjestyksestä ja lukumäärää voidaan muokata haastateltavan henkilön mukaisesti. Suoritettavilla haastatteluilla on kohdennetusti tarkoitus koota riittävä otanta kohdeyrityksen eri tuotantoprosessin osa-alueilta eli työntekijäosastoilta. Haastattelutilanteeseen kutsutaan siis naulalevyrakenteiden suunnittelijahenkilö, myyntiosaston työntekijä ja tuotantovaiheen työnjohtohenkilö.

Haastattelutilanne käsittää listan aihepiirejä ja esimuotoiltuja kysymyksiä, joita haastattelussa käydään läpi. Kysymysten muotoilu ja aihepiirit voivat hieman vaihdella haastateltavan henkilön ominaisuudesta ja työnkuvasta kohdeyrityksessä. Puolistrukturoidun haastattelumuotoon mukaisesti haastattelutilanteessa käytetään siis valmisteltua aihelistaa, jonka mukaisesti haastattelu etenee. Käytävien asioiden järjestyksestä ja muotoilua voi kuitenkin muuttaa haastattelutilanteen mukaisesti.

4.4 Tarjouslaskentatutkimus

Tämän opinnäytetyön tutkimuksien tuloksia pyrittiin vertailemaan todellisiin tilanteisiin naulalevyrakenteisten kattokannattimien teollisessa tuotantoprosessissa ja tilaus-toimitusketjussa. Vertailukohtien kokoamiseksi ja tarjouslaskentamenetelmiä analysoivaksi tutkimusmenetelmäksi valittiin myös tarjouslaskentatutkimus. Tämä tutkimusmuoto on ajanottotutkimuksen tavoin määritelty toiminnalliseksi tutkimusmenetelmäksi, jossa tutkimuksiin osallistuvat työntekijähenkilöt toimivat todellisissa työskentelytilanteissa. Tässä tutkimuksessa myyntiosaston henkilö määrittää ajanottotutkimuksissa käytetyille harjaristikkomalleille todellisen tarjouksen annettujen kaavioiden pohjalta. Tutkimusmenetelmässä tarkastellaan samoja materiaalimenekkejä, kuin ajanottotutkimuksissa. Näin eri tutkimusmuotojen tuloksia voidaan vertailla materiaalimenekkien osalta ja luoda analyysia tarjouslaskentamallin antamien tulosten oikeellisuudesta ja todenperäisyydestä.

Opinnäytetyön tarjouslaskentaan liittyvällä kerätään tietoa tarjouslaskennan ajantasaisuudesta ja toimintamallista. Tarjouslaskennassa käytettäviä määrääroja voidaan vertailla ajanottotutkimuksissa kerättyihin määreisiin, jolloin toiminta-analyysi kirjoitushetkellä käytössä olevasta tarjouslaskentamallista ja sen toiminnasta voidaan luoda. Tutkimuksessa taltioidaan seuraavia naulalevyrakenteisen ristikkokannattimen hinnoittelussa käytettäviä määreitä:

- 1) Käytettävän puutavaran tilavuus
- 2) Naulalevyjen puristuspisteiden lukumäärä
- 3) Naulalevyjen yhteenlaskettu pinta-ala

4.5 Huomioita tutkimuksista

Jokainen rakenteellinen ristikkokokoonpano on kuitenkin juuri tiettyyn rakennuskohteeseen suunniteltu ainutlaatuinen rakennekokonaisuus. Tässä opinnäytetyössä käsiteltäviä ristikkomalleja tulee tarkastella aina yksittäistapauksina eikä niistä voi tehdä yleismaailmallisia johtopäätelmiä, jotka pätevät kaikissa välituellisissa ristikkoratkaisuissa. Naulalevyrakenteisen kannatinkokoonpanon geometriset ominaisuudet ja tuentapisteiden sijainnit vaikuttavat rakenteen toimintaan kokonaisuutena. Tästä syystä välituentojen vaikutuksia kustannuksiin ja rakenteen toimintaan tulee aina pohtia tapauskohtaisesti.

Tutkimustyön luonteen johdosta tutkimustöiden tuloksia ei tässä opinnäytetyössä esitetä tarkoilla luvuilla ja ilmaisuilla. Tutkimustuloksena saadut lukuarvot ovat kohdeyrityksen toimeksiantamana salattuja, joten niiden esitysmuoto on muutettu alkuperäisistä tulostiedoista. Tilastollisen taulukkomenetelmien kuvaajien tarkat lukuarvotiedot ovat siis poistettu tässä opinnäytetyössä esiteltävistä kuvaajista ja kaavioista. Eri tutkimusmenetelmien vertailutulostietoja ei tässä opinnäytetyössä käsitellä salaussyistä samassa kaaviossa tai kuvaajassa.

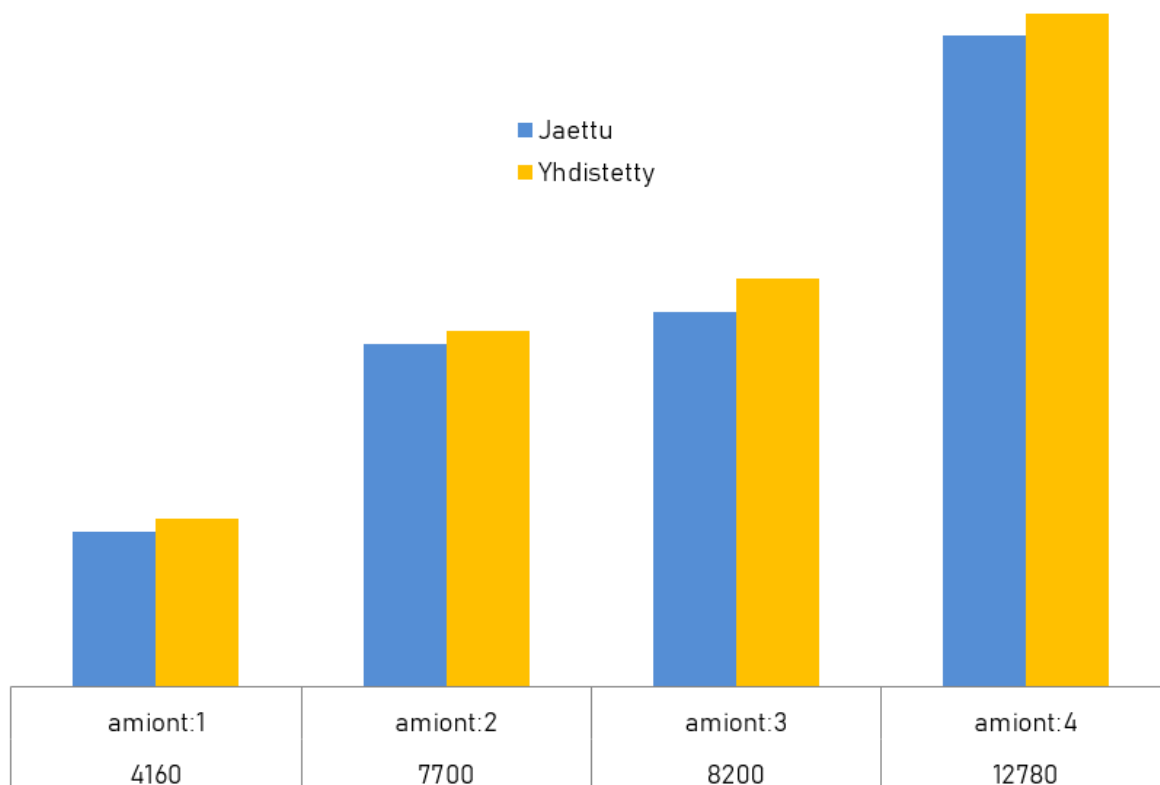
5 TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU

Tämän opinnäytetyön tutkimukset pyrittiin toteuttamaan luotettavasti ja vertailukelpoisesti, jotta tulovertailua voitaisiin suorittaa olemassa olevaan tietokantaan ja käsityksiin. Materiaalimenekkien osalta tutkimusten tulostiedoista luotiin mahdollisimman vertailukelpoisia painotettuja keskiarvotietoja luomalla systemaattinen kappalemäärämenetelmä vertailtavien tulosten pohjalle. Tässä menetelmässä kolme eri tuentavaihtoehtoa sisältävien ristikkomallien tiedot ovat esitetty painotettujen keskiarvotulosten mukaisesti. Kaikki tässä opinnäytetyössä esiteltävät toiminnallisten tutkimusten tulostiedot ovat toteutettu painotetulla keskiarvomenetelmällä.

Painotetun keskiarvomenetelmän käyttö on tulostarkastelussa merkitty yhdistelmällä (5:5:2), joka kuvaa keskiarvotulosten taustalla käytettyjä kappalemääriä jaetuissa tuentamallitapauksissa. Käytetyt kappalemäärät keskiarvovertailussa ovat siis päästään tuetussa tuentavaihtoehdossa viisi (5), välituetussa ratkaisumallissa viisi (5) ja jatkuvassa tuentaratkaisussa kaksi (2). Tällä menetelmässä pyritään tuomaan esille todellista tilannetta, jossa kappalemäärät eri tuentavaihtoehtojen välillä eivät useimmiten ole samat. Esimerkiksi ristikkokentän päädyissä tavallisesti käytettävien jatkuvatukisten ristikkokannattimien kappalemäärät ovat usein pienempiä, kuin yksittäisillä tuennoilla toteutetut ristikkorakenteet.

Kaikissa tutkimuksissa esiintyvissä ristikkokaavioissa esiintyi ääripisteistä tuettu kaksitukinen ja välituettu kolmitukinen tuentavaihtoehto (taulukko 2). Mikäli tutkimustarkastelussa olevissa ristikkokaavioissa ei jatkuvatukista ratkaisua esiinny, ovat muut kappalemäärät voimassa tarkastelussa. Tällöin tarkastelussa ei normaalin keskiarvotuloksen ja painotetun keskiarvon tuloksissa esiinny eroavaisuuksia, koska kappalemäärät ovat yhteneväiset (5:5). Yhdistettyjen tuentaratkaisujen tapauksissa kappalemääriä ei ole eritelty ristikkorakenteiden ollessa geometrialtaan ja ominaisuuksiltaan yhteneväisiä.

Tämän opinnäytetyön tutkimustuloksissa ja tulosten tarkastelussa toiminnallisella tutkimusmenetelmällä tarkoitetaan ajanottotutkimuksia ja tarjouslaskennan tulostutkimuksia. Toiminnallisen tutkimuksen periaate on, että kohdeyrityksessä työskentelevä henkilö on todellisessa työskentelytilanteessa ja -olosuhteissa suorittanut tämän opinnäytetyöhön liittyviä tutkimuksia.



Kuvio 2. Ajanottotutkimusten tulosvertailu ristikkorakenteen omapainosta (5:5:2).

Kuviosta 2 ilmenee ajanottotutkimusten tulosvertailun pohjalta laaditut ristikkorakenteiden omapainoarvot. NR-ristikoiden omapainon arvotiedot ovat kerätty ajanottotutkimuksista tuloksena saaduista ristikkomalleista ja niiden rakennesuunnitelmista. Näistä tulostiedoista käy ilmi, että kannatinratkaisun omapaino on yhdistetyssä tuentamallissa keskimäärin noin 5,9 % suurempi verrattuna jaettuun tuentamalliin. Kohdeyrityksen käytössä oleva naulalevyrakenteiden mitoitusohjelmisto ilmoittaa mitoitus työn tuloksena muun muassa rakennekokonaisuuden arvioitun omapainon. Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä käytössä oleva tarjouslaskentatutkimus ei laskentaohjelmiston toimintamekaniikan johdosta ota kantaa ristikkorakenteen omapainoon tai ilmoita sitä. Tästä syystä omapainoarvojen vertailua ei tämän opinnäytetyön varsinaisissa tulosvertailuissa voida suorittaa ajanottotutkimusten ja tarjouslaskentatutkimuksen välillä.

Opinnäytetyön tulosten tueksi ja vertailukohdaksi haettiin ennen tutkimustöitä Sepa Oy:n työarkistosta 34 tavanomaista todellisen mitoitus työn läpäissyttä päistään tuettua harjaristikkoa erilaisilla geometrioilla. Nämä kannatinrakenteet ovat siis tuotettu kohdeyrityksessä todellisille asiakkaille viimeisen vuoden aikana tämän opinnäytetyön kirjoitushetkestä. Kuitenkin yhteneväisyyden ja vertailukelpoisuuden johdosta näiden NR-kattoristikoiden geometriatiedot ovat samankaltaisia ja symmetrisiä niiden keskiviivan suhteen. Näitä materiaalimenekkien vertailutarkoituksessa haettuja jo toteutettuja kannatinratkaisuja kutsutaan tässä opinnäytetyössä nollaristikoiksi. Näiden nollaristikoiden geometrian arvotiedoiksi valikoitui kattokaltevuuden osalta 14,036 (1:4) - 21,801 (1:2,5) asteysikköä, tukikorkeudeksi 300 - 800 millimetriä ja vaakasuuntaiseksi räystäsmitaksi 410 - 995 millimetriä. Nollaristikoiden materiaalimenekkitiedot ovat tuloskaavioissa esitetty punaisilla pisteillä.

5.1 Tutkimusmenetelmien luotettavuus

Tässä opinnäytetyössä käytettävien tutkimusmenetelmien kehitykseen ja ideointiin osallistui Sepä Oy:n henkilöstö. Tutkimusmenetelmistä pyrittiin tuomaan esille oikeellisia ja realistisia työskentelytilanteen pulmia ja ongelmakohtia, joita naulalevyrakenteiden suunnittelija kohtaa jokapäiväisessä työssään. Opinnäytetyön ajanottoon ja materiaalimenekkeihin liittyvät tutkimukset keskittyivät yhtiönäistämään työskentelytilanteet eri suunnittelijahenkilöiden välillä samanlaisiksi, jotta tuloksia voitaisiin luotettavasti vertailla keskenään. Ajanottotutkimukset suoritettiin jokaisen tutkimustyöhön osallistuvan NR-suunnittelijan kanssa samalla työpisteellä mahdollisten tietotekniikkaan liittyvien tekijöiden sulkemiseksi pois tutkimustuloksista. Jokaisen suunnittelijayksilön kuitenkin ollessa työskentelymekaniikaltaan ja -tottumuksiltaan erilainen voivat työskentelytapoihin liittyvät yksityiskohdat vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin. Toiminnallisten tutkimusten tutkimusmenetelmien yhteydessä tarvittaisiin joiltain osin suurempaa tai muokattua otantakantaa, jotta tulosvertailu olisi realistisesti käyttökel-poista suoraan tarjouslaskennan työkaluksi.

Tarjouslaskentamallin antamien tulosten tarkastelussa tulee ottaa huomioon, että annetut kohdeyrityksen myyntihenkilön määrittelemät tarjouslaskennan menekkiarvot ovat suoritettu yhden myyntihenkilön toimesta. Toisin kuin ajanottotutkimuksissa, tarjouslaskentatutkimuksissa ei luotu tilastollista keskiarvotaulukointia eri työntekijöiden välille, koska tutkimuksiin osallistui vain yksittäinen myyntihenkilö. Kuitenkin tarjouslaskentatutkimuksen tuloksena saadut tulokset voidaan arvioida olevan lähellä koko myyntiyrityksen toiminnan keskiarvoa, koska sama tarjouslaskentaohjelmisto on myyntihenkilöiden yhteisessä käytössä.

Tutkimustuloksia vertaillaessa voidaan todeta, että tulokset myötäilevät suurilta osin ennen tutkimuksia määriteltyjä olettamuksia ja hypoteeseja liittyen tuloksiin. Tutkimustyön tarkoituksensa mukaisesti voidaan arvioida onnistuneen hahmottamaan tuentamallien ja välitukien käyttäytymistä pääosin realistisissa suunnittelutilanteissa.

5.2 Kokonaisuuden arviointi

Opinnäytetyön tutkimustöiden ja menetelmien voidaan todeta onnistuneen, koska tuloksena saadut tulosarvot ovat suurilta osin lähellä aiemmin arvioituja olettamuksia. Opinnäytetyön toiminnalliset tutkimukset onnistuivat suoritustilanteissa ilman pulmia ja ongelmia. Tämän opinnäytetyön pääasialliseen tutkimusmenetelmään, ajanottotutkimuksiin osallistui yhteensä viisi tutkimustyön tutkimustöiden suoritushetkellä Inspecta Sertifiointi Oy:n hyväksymää vastaavaa NR-suunnittelijaa ja kolme avustavassa ominaisuudessa toimivaa NR-suunnittelijaa, mukaan lukien tämän opinnäytetyön laatija. Kahdeksan suunnittelijahenkilön kesken muodostettu tilastollinen keskiarvotieto voidaan suurilta osin olettaa luovan luotettavan pohjan tehdä oikeellisia arvioita tutkimustyön tulosten perusteella. Tutkimusmenetelmien toiminnallisissa osuuksissa otantalaajuus tulisi olla suurempi tai ammatilliselta arviopohjalta muokattu, jotta tutkimustulosten vertailutieto voitaisiin suoraan hyödyntää tarjouslaskentamallin osana. (Inspecta Sertifiointi Oy)

5.3 Tulosten vertailu

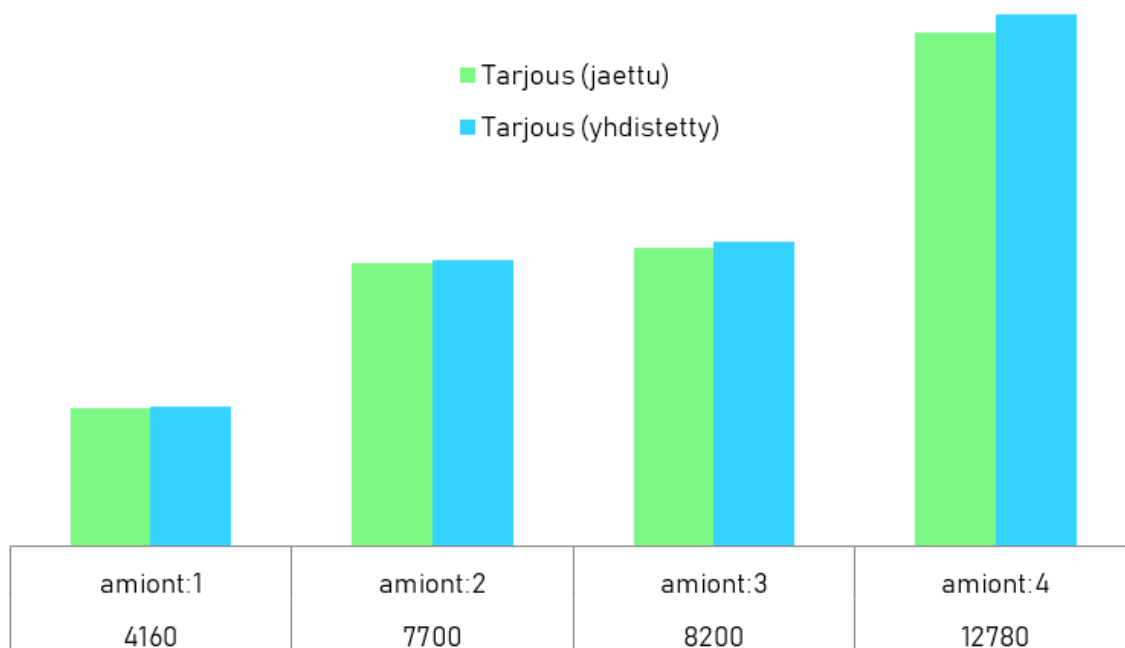
Toiminnallisten tutkimusmenetelmien tilastollisia tutkimustuloksia esitellään tässä opinnäytetyössä graafisessa havainnollistavassa kuvaajamuodossa vertailukohtien vertailutyön helpottamiseksi ja havainnollistamiseksi. Kuviot ovat muotoilultaan pääasiassa pylväsdiagrammeja, joista tulosten eroavaisuudet olisivat mahdollisimman helposti ymmärrettävissä ja luettavassa muodossa. Tämän opinnäytetyön tutkimustulosten vertailutaulukointi on luotu Microsoft Excel 2010-taulukkolaskentaohjelmistossa.

Tämän opinnäytetyön tulostarkastelussa ei salauksellisista syistä käsitellä toiminnallisten tutkimusmenetelmien ulkopuolisia tutkimustoimenpiteitä ja niiden tuloksia. Haastattelututkimusten tulokset ovat vertailutulosten ohella siis suljettu pois tulosten listauksesta, eikä niiden tuloksia esitetä tässä opinnäytetyössä tulosten yhteydessä.



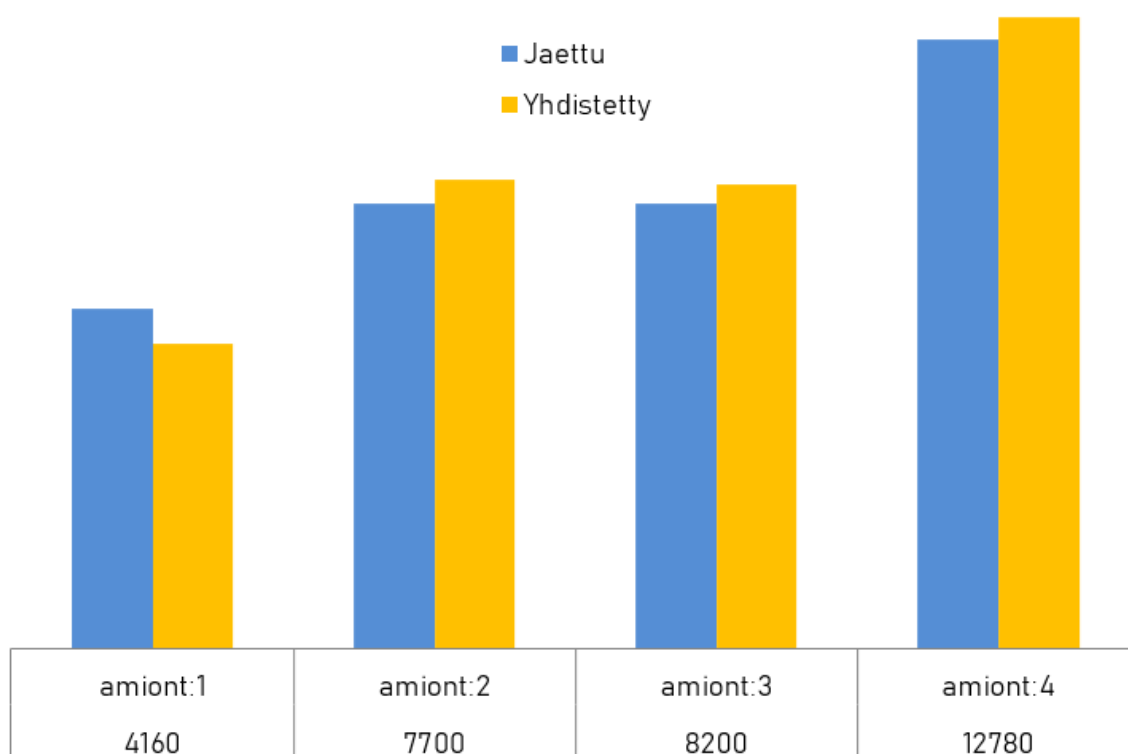
Kuvio 3. Kattokannattimien puutavaran tilavuuden vertailu ajanottotutkimuksissa (5:5:2).

Kuviosta 3 käy ilmi, kuinka yhdistetyssä tuentamalliratkaisussa kannatinristikkoon käytettävän puutavaran kokonaistilavuus on jokaisessa tutkimusristikossa suurempi, kuin jaetussa tuentamallissa. Tämä vertailutulos vahvistaa jo lähtötietona olleen oletuksen, että yhdistetty tuentaratkaisun materiaalien näkökulmasta rakenteellisesti ylimitoitettu. Rakenteeseen käytettävä puutavara on tilavuudeltaan opinnäytetyön tutkimuksissa keskimäärin noin 5,4 prosenttiyksikköä suurempi yhdistetyssä tuentamallissa verrattuna jaettuun tuentamalliin. Tutkimustuloksista ilmenevä käytettävän rakennepuutavaran tilavuusero selittyy osin sillä, että yhdistetty ristikkorakenne on mitoituksellisesti suunniteltu toimimaan monessa tuentatapauksessa.



Kuvio 4. Tarjouslaskentatutkimuksen puutavaran tilavuuden vertailu.

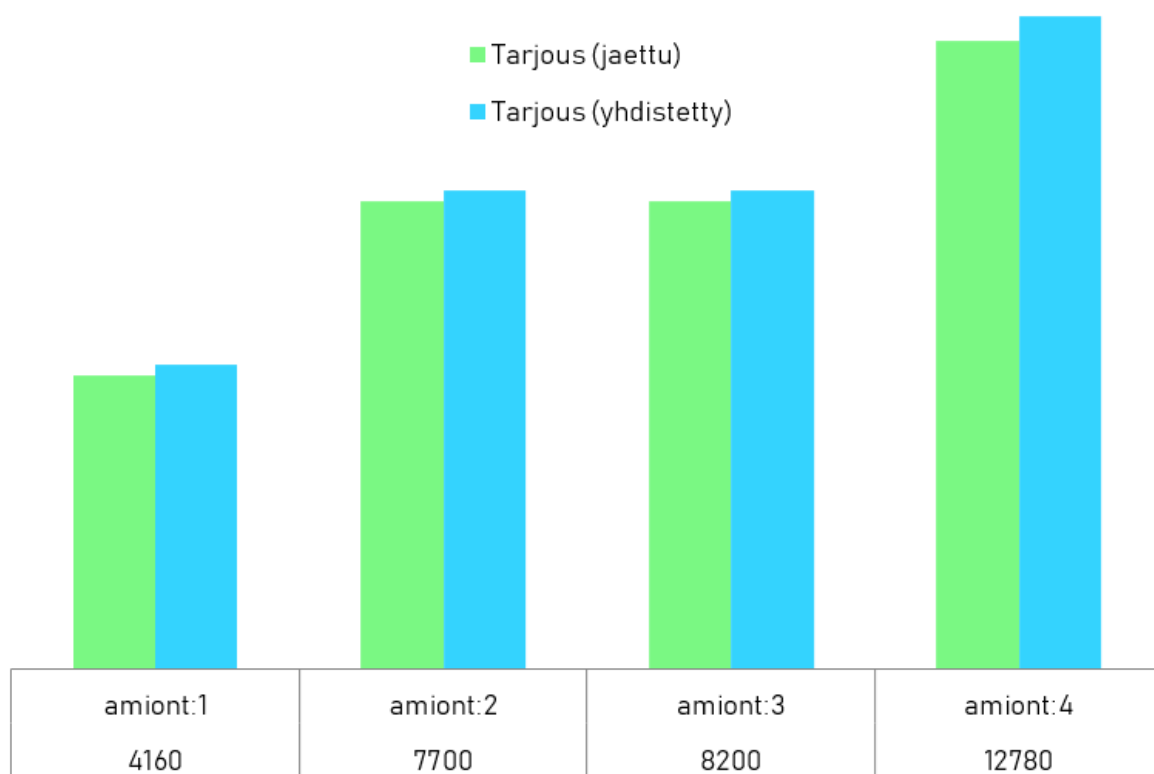
Kuviosta 4 käy ilmi tarjouslaskentatutkimuksen tulokset ristikkorakenteiden puutavaran tilavuusarvojen osalta. Samoin kuin ajanottotutkimuksen tuloksissa, tarjouslaskentatuloksissa yhdistetty tuentaratkaisumalli on tuotehinnoittelussa arvioitu tilavuudeltaan suuremmaksi verrattuna jaettuun tuentamalliin. Jokaisessa tutkimuskohteessa tarjouslaskentaohjelmistoon syötetty puurakenteen kokonaistilavuus on siis suurempi yhdistetyssä ratkaisussa. Kaikkien tutkimuksen sisältämien ristikkotyyppien yhteenlaskettu keskiarvoero tuentamallien välillä on noin kaksi prosenttiyksikköä.



Kuvio 5. Ajanottotutkimusten puristuspisteiden lukumäärän vertailu.

Keskimäärin ajanottotutkimuksissa toteutettujen yhdistettyjen tuentaratkaisumallien naulalevyjen puristusasteiden lukumäärät ovat noin 0,7 prosenttiyksikköä suuremmat kuin jaettujen tuentamallien lukumääräarvot. Kuvista 5 käy kuitenkin ilmi, että työnumerolla amiont:1 merkityssä ristikkomallissa puristusasteiden määrä on jaetussa tuentaratkaisussa keskimääräisesti suurempi verrattuna yhdistettyyn ratkaisumalliin. Tämän muista tutkimustöistä poikkeavan ilmiön voi selittää esimerkiksi kooltaan pienen ristikkorakenteen rakenteellisen mallin geometria ja ominaisuudet.

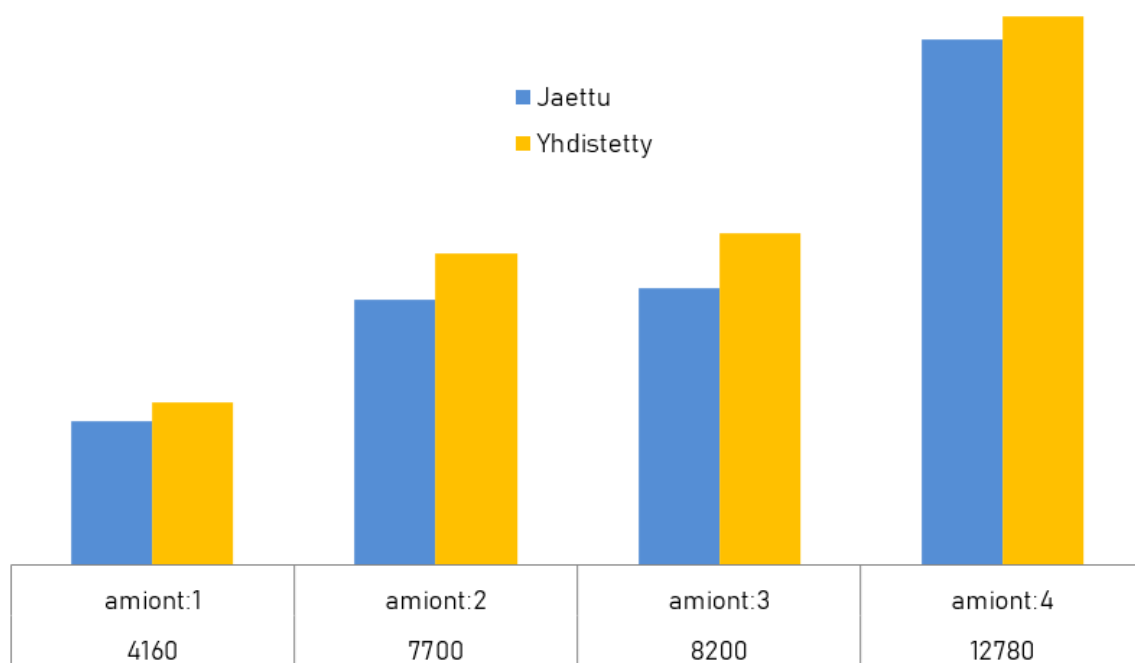
Erilaiset tuentaratkaisut voidaan pienessä ristikkorakenteessa geometrisesti toteuttaa monin eri tavoin, joten variaatioita jaetussa tuentaratkaisumallissa ilmenee enemmän. Suunnittelijahenkilöiden yksilölliset tottumukset ja mieltymykset voivat vaikuttaa suunnittelutilanteessa muodostuvaan naulalevyrakenteisen ristikon rakenteelliseen geometriamalliin. Tilastollisesti tämä ilmiö voi helposti esiintyä juuri pienikokoisissa naulalevyristikoissa, joissa suunnittelijahenkilöllä on käytössään enemmän mahdollisia geometrisia malleja ristikkorakenteen toteuttamiseksi. Arvioituna tämä ilmiö ei kuitenkaan ilmeneisi suuremman tutkimusotannan yhteydessä, joten tutkimustulosten voidaan olettaa tältä osin olevan valheellisia.



Kuvio 6. Tarjousten perusteella luotu puristusasteiden lukumäärän vertailu.

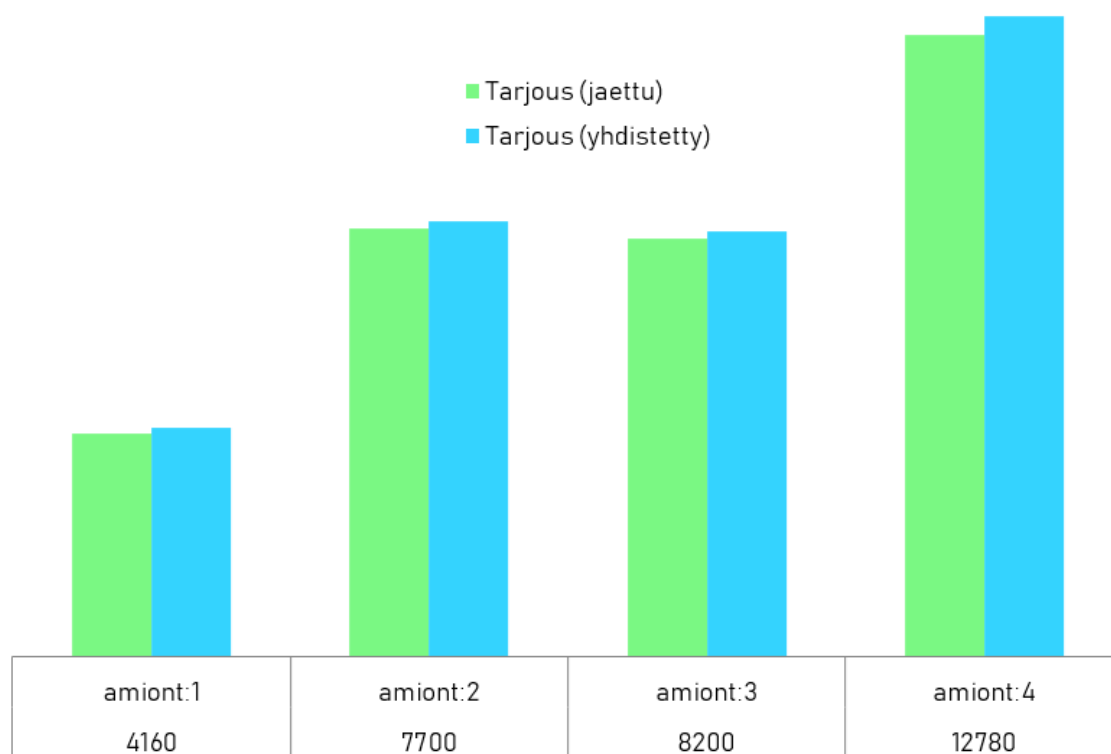
Kuvion 6 perusteella voidaan todeta, että kohdeyrityksen käytössä oleva tarjouslaskentamallin tulokset ovat puristusasteiden hinnoitteluperusteiden osalta lähellä todellisuutta. Yhdistetyn tuentamallin puristusasteiden lukumäärä on tarjouslaskentamallin mukaisesti kaikissa tutkimusristikkomalleissa suurempi verrattuna jaettuun ratkaisumalliin. Keskimäärin eri tutkimuskohteiden välillä ero tuentamallien välillä on noin 3,1 prosenttiyksikköä.

Ajanottotutkimusten (kuvio 5) tuloksista poiketen työnumeron amiont:1 puristuspisteiden lukumääräarvo on tarjouslaskentatutkimuksessa suurempi yhdistetyssä tuentamallissa. Tämän ilmiön selittää se, että kaikenkokoisten kannatinratkaisujen tuotehinnoittelussa käytetään kohdeyrityksessä samoja tarjouslaskennan työkaluja ja periaatteita. Tästä syystä tarjouslaskennan tuloksien erot ovat vertailtavien tuentamallien välillä kaikissa tutkimusristikoissa prosentuaalisesti lähes yhtenevät. Tulostarkastelun perusteella voidaan todeta, että kun kyseessä on pienikokoinen NR-ristikkorakenne, on käytössä olevassa tarjouslaskentaohjelmistossa kehitystarve. Jotta tämän olettamuksen perusteella voitaisiin tehdä muutoksia tarjouslaskentaohjelmistoon, tulisi tutkimusten otantaa muokata sopivammaksi. Verrattain lyhyiden kannatinristikoiden käyttäytymistä välituentatapauksissa tulisi kuitenkin tutkia lisää, jotta täysin oikeellisia johtopäätelmiä voitaisiin tehdä.

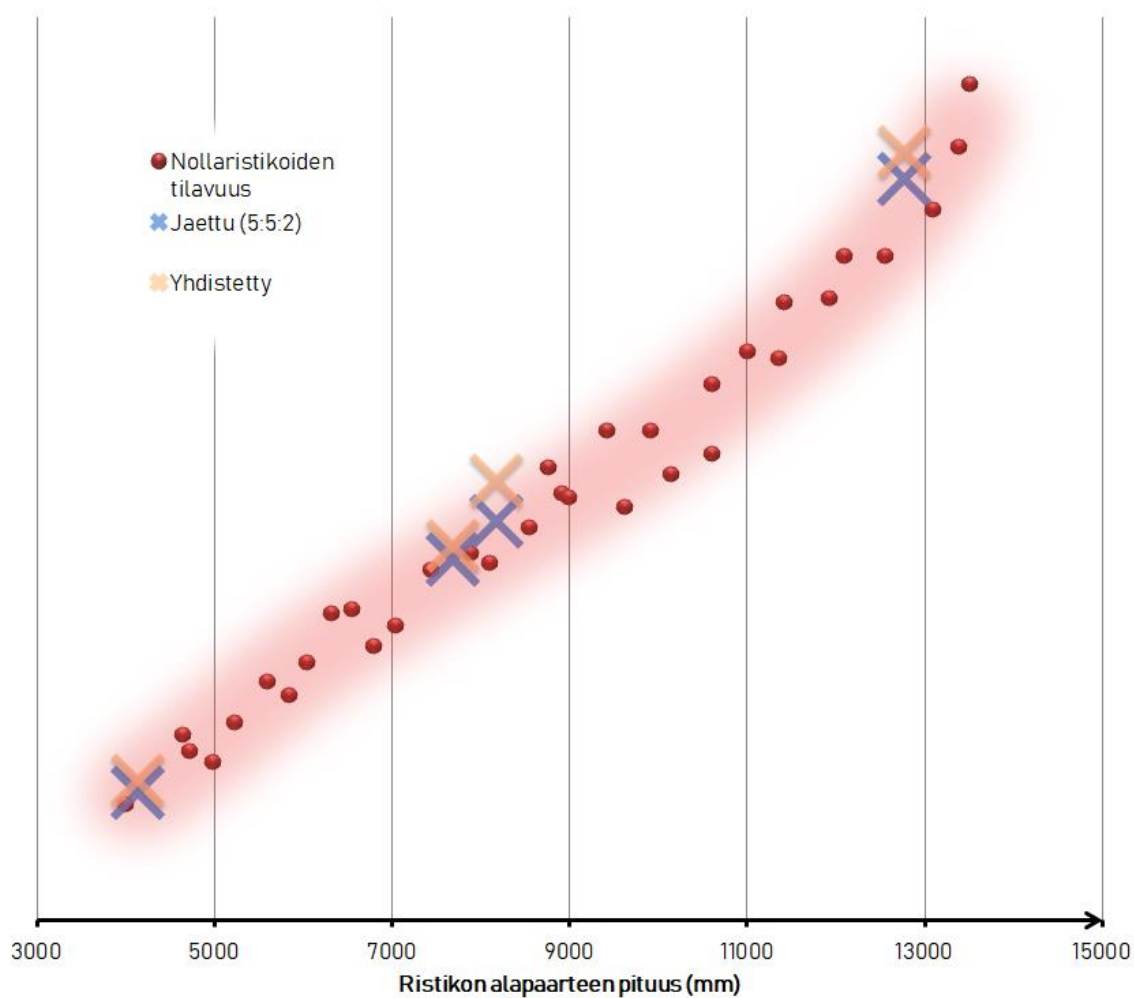


Kuvio 7. Ajanottotutkimusten naualalevyjen pinta-alan vertailu.

Naulalevyrakenteisiin kattokannattimiin käytettävien naualalevyjen pinta-alapohjainen vertailu (kuvio 7) osoittaa, kuinka naualalevyjen kokonaisala on yhdistetyssä tuentamallissa suurempi verrattuna jaettuun ratkaisuun. Kaikki tutkimusristikot mukaan lukien keskiarvolaskusta käy ilmi, että yhdistetty tuentamallin verrattuna jaettuun tuentamalliin on noin 13,7 prosenttiyksikköä suurempi. Tarjouslaskentatutkimuksessa tarjouslaskennan (kuvio 8) osoittamat naualalevymenekkien erot tuentamallien välillä eivät kuitenkaan ole yhtä selviä verrattuna ajanottotutkimuksiin. Tarjouslaskentatutkimuksen tuloksissa naualalevyjen pinta-ala yhdistetyissä tuentamalleissa on keskimäärin 2,2 prosenttia suurempi verrattuna jaettuun tuentaratkaisuun.



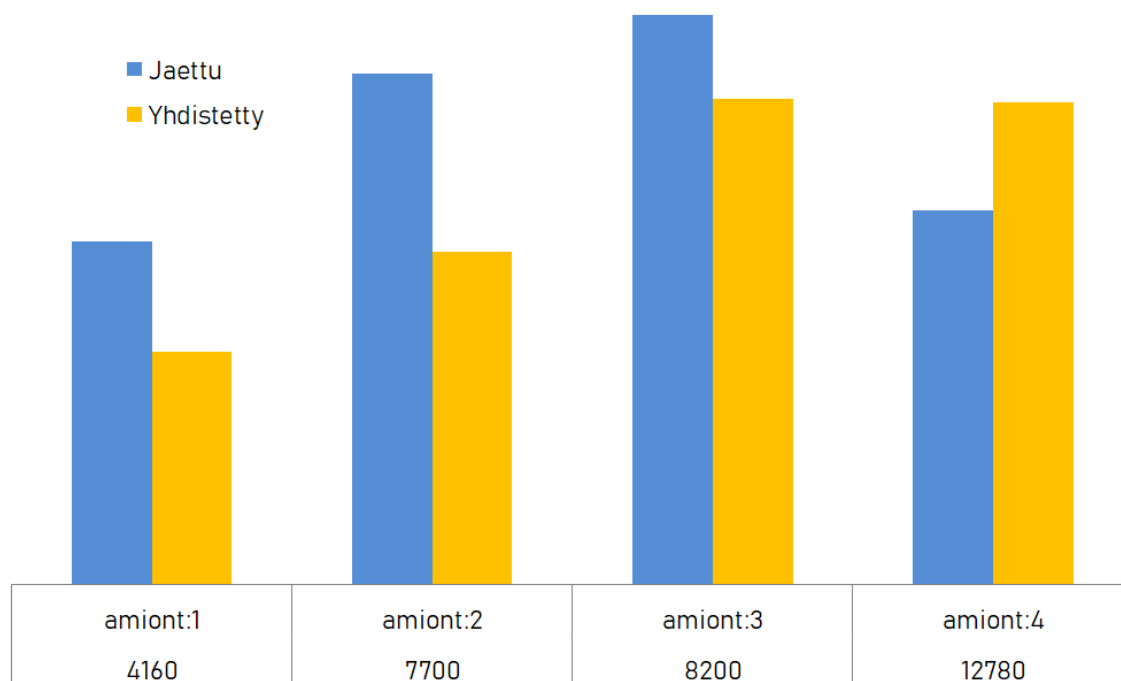
Kuvio 8. Tarjouslaskentatutkimuksessa tuotettujen naulalevyjen pinta-alatietojen vertailu.



Kuvio 9. Opinnäytetyön tutkimusten tulostietoja voidaan verrata nollaristikoihin.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin hyväksi myös Sepa Oy:n ristikkorakennemallien tietomalliarkistoa, josta koottiin hallitusti ns. nollaristikoiden sarja. Tähän sarjaan sisällytettiin geometrisesti tavanomaisia harjaristikkomallisia kattokannattimia, jotta niitä voitaisiin verrata tutkimustöissä käytettyihin ristikkomalleihin. Kuvion 9 nollaristikot ovat mahdollisimman vertailukelpoisesti ja havainnollisesti piirretty kuvaajaan punaisin pistein. Puutavaran tilavuusvertailutaulukon vaaka-akselilla esitetään kattokannattimen alapaarteen pituus, eli päistään tuetussa tapauksessa jänneväli millimetreinä.

Vertaillessa nollaristikoita tutkimusristikoihin voidaan todeta, että pääsääntöisesti opinnäytetyön ajanottotutkimuksissa käytetyt välituolliset ristikkomallit sijoittuva pääosin käytetyn punaisen trendiviivan yläosiin. Tämä trendiviiva kuvaa tulostarkastelussa käytettyjen nollaristikoiden tilavuusarvoja monimuotoisella polynomisella funktiokäyrällä, jonka tarkoitus on kertoa puutavaran keskimääräinen tilavuusarvo taulukossa.



Kuvio 10. Ajanottotutkimusten suunnitteluaiakeskiarvot työnumeroittain.

Ajanottotutkimusten perusideana oli opinnäytetyön tutkimusmenetelmien kehittelyvaiheessa kerätä tietoa eri tuentamallien viemästä suunnitteluajasta. Kuitenkin loppuarvion perusteella NR-suunnittelun osuus naulalevyrakenteisen kannatinristikon kokonaiskustannuksista ja kustannusrakenteesta on lähes merkityksettömän pieni verrattuna muihin työ- ja materiaalikustannuksiin. Tästä syystä tässä opinnäytetyössä ei suunnittelutyön ajankäytölle ole annettu suurta painoarvoa ristikkorakenteen kustannusten muodostumisessa erilaisia tuentatapauksia vertaillessa. Kuviosta 10 käy kuitenkin ilmi, kuinka keskimääräisesti jaettu tuentamalli vie NR-suunnittelutyön näkökulmasta enemmän aikaa verrattuna yhdistettyyn tuentamalliin. Työnumeron amiont:4 ristikkomallin ajanottoarvot kertovat, että yhdistetty tuentaratkaisumalli vie enemmän aikaa. Tämän ilmiön voi selittää se, että kyseisessä tutkimusristikossa oli ainoana mallina vain kaksi tuentavaihtoehtoa (taulukko 2).

5.4 Tulosten käyttö tarjouslaskennassa

Tarjouslaskennan näkökulmasta tämän opinnäytetyön tutkimustulokset antavat viitteitä siitä, kuinka naulalevyrakenteisia kannatinrakenteita tulisi hinnoitella välituentatapauksissa. Kuitenkin tässä opinnäytetyössä käytetyt ristikkomallit ovat yksittäistapauksia ja niiden soveltuvuutta tarjouslaskennan aputyökaluksi täytyy tarkastella tapauskohtaisesti. Jokaisen ristikkomallin ollessa yksittäistapauksena ainutlaatuinen vaikuttavat välituentojen sijainnit ja ristikon geometria rakenteen toimintaan kantaavana rakenneosana. Tämän opinnäytetyön toiminnallisiin tutkimuksiin valitut naulalevyristikoiden esimerkkimallit pyrittiin geometrisesti hahmottelemaan ääritapauksia mukaillen, joissa välituntoihin liittyvät menekkien erot olisivat suurimmillaan. Tutkimusten tulostiedot ovat siis ääritapauksia, joka tulosarvotietojen käyttäjän tulee ottaa työssään huomioon.

Keskiarvotietoja toiminnallisten tutkimusten tuloksista voidaan käyttää tarjouslaskennan aputyökaluna soveltuvin osin välituellisissa tapauksissa. Jotta tulostietojen keskiarvotaulukoinnin pohjalta voitaisiin luoda tarkkoja kerroinlukuja käytettäväksi tarjouslaskentaohjelmistossa, täytyisi tutkimuksia laajentaa otannan ja ristikkomallien osalta. Mikäli ristikkotilaukseen liittyy mahdollisuus ristikkomyyjähenkilön toimimisesta konsultoivana henkilönä NR-ristikon tilaajaosapuolelle, voi myyjä ottaa tapauskohtaisesti huomioon tämän opinnäytetyön tutkimustulostiedot.

5.5 Muut kehitysmahdollisuudet

Tämän opinnäytetyön tutkimukset kuvaavat soveltuvilta osin rakenteellisten välituentapausten käyttäytymistä naulalevyrakenteisissa puukokoonpanoissa. Tutkimustöiden rajaamiseksi toiminnallisiin tutkimuksiin otettiin mukaan rajattu määrä esimerkkiristikoita välituentatapauksista. Tästä syystä opinnäytetyön tutkimustuloksia tulee analysoida ja käyttää tapauskohtaisesti soveltuvuuden ammatillisen arviopohjan mukaisesti.

Toiminnallisten tutkimusten tulokset ovat suunnattu kohdeyrityksen myyntiosaston työntekijöiden aputyökaluksi kattoristikoiden hinnoitteluperusteeksi välituellisiin tapauksiin. Haastattelututkimusten tulostietoja voidaan kuitenkin käyttää muissakin yhteyksissä yrityksen toiminnassa hahmottamaan yleisiä mielipiteitä työntekijöiden ja toimihenkilöiden keskuudessa.

6 YHTEENVETO OPINNÄYTETYÖSTÄ

Kokonaisuutena opinnäytetyö oli sisällöltään ja luonteeltaan haasteellinen aihekokonaisuus. Toteutustapojen pohdinta ja aihealueen rajaaminen sopivaksi osoittautui jo lähtötilanteessa haasteelliseksi, koska aihealueen luonteesta johtuen otantakantojen laajuus vaikutti huomattavasti tulosten vertailukelpoisuuteen. Tutkimusten tulosvertailusta saatiin kuitenkin luotua suurilta osin vertailukelpoinen ja havainnollistava tilastollinen asiakokonaisuus.

Opinnäytetyön toiminnallisten tutkimusten otantakannan rajoittavana tekijänä toimi kohdeyrityksen hyvin rajattu määrä asianomaisia toimihenkilöitä ja työntekijöitä. Lukumääräisesti ajanottotutkimusten otanta oli arviopohjalta vähäinen ja naulalevyrakenteiden suunnittelijajäsenien persoonalliset eroavaisuudet toteutus- ja työskentelymenetelmissä voivat vaikuttaa tutkimusten tuloksiin. Kuitenkin saatavilla olevien suunnittelijajäsenien kanssa muodostettu tulosarvotieto on olosuhteisiin nähden hyvällä tasolla tulosten oikeellisuuden ja vertailukelpoisuuden kannalta.

Opinnäytetyön aihealueen ja työn laadun haasteellisuuden vuoksi tutkimustöiden onnistuminen olosuhteisiin nähden oli hyvällä tasolla. Tulosten määrän rajallisuudesta huolimatta tulokset saatiin listattua ja taulukoitua odotetulla tavalla tulostietojen jatkokäyttöä ajatellen.

6.1 Tulosten tarkastelun haasteet

Opinnäytetyön suoritus sisälsi erilaisia haasteita ja ongelmakohtia, joita tutkimustyöskentelyn ja analysoinnin edetessä kohdattiin. Suurimmaksi ongelmakohtaksi työn ja sen tulosten laadun kannalta osoittautui kohdeyrityksessä työskentelevien suunnittelijajäsenien rajallinen lukumäärä. Tutkimusten tuloksia ja analyysia kuitenkin pyrittiin jatkojalostamaan yhteistyössä kohdeyrityksessä toimivien avainhenkilöiden kanssa yhteistyössä siten, että tulostiedot olisivat mahdollisimman käyttökelpoisia.

Tulosten tarkastelua haittasi mainittavissa määrin otantakannan sisältämien suunnittelijajäsenien rajallinen lukumäärä, henkilökohtaiset eroavaisuudet työskentelymekaniikassa ja -menetelmissä ja erilaisten määräysten soveltaminen lopulliseen kannatinrakenteeseen. Työskentelyn henkilökohtaisiin eroavaisuuksiin pyrittiin vaikuttamaan tutkimusmenetelmien valmisteluissa siten, että kaikkien toiminnallisten tutkimusten ajanottomenetelmätestit suoritettiin samalla työskentelypisteellä. Tämä menetelmä ei kuitenkaan sulkenut pois kaikkia suunnittelijajäsenen henkilökohtaisia ominaisuuksia. Tulosten varjolla voidaan todeta, että yksilöiden väliset eroavaisuudet työskentelyssä olisivat vähemmissä määrin näkyneet tuloksissa, mikäli otantakanta olisi ollut laajempi.

Osaltaan tuloksiin vaikuttivat eri yksilöiden menetelmät soveltaa voimassa olevia naulalevyrakenteiden suunnitteluohjeistuksia ja -määräyksiä. Esimerkkinä tästä voidaan todeta määräys naulalevyrakenteiden kannatinrakenteiden sauvaleveydestä. Kattokannattimen jännevälipituuden ollessa yli viisi (5) metriä, tulee ristikon paarteiden ja muiden ulkosauvojen leveyden olla vähintään 90 millimetriä. Tätä lyhyemmissä kannatinristikoissa paarteiden minimileveys on 68 millimetriä. Ajanottotutkimusten

pienimmän ristikon (amiont:1) jännevälimitta oli 4160 millimetriä. Tällöin voidaan sen paarteet teoreettisesti määräyksien mukaisesti toteuttaa kapeimmalla kohdeyrityksen käytössä olevalla rakennepuuleveydellä, eli 72 millimetriä leveällä puutavaralla. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 6)

Kuitenkin tutkimustulokset osoittivat, että kaikista toiminnallisissa tutkimuksissa esiintyneistä erilaisista amiont:1-ristikoista 62,5 prosenttia toteutettiin alaparteen osalta 72 millimetrin rakennepuutavaralla. Muiden tutkimusristikoiden alapaarteet toteutettiin tulosten perusteella 98 millimetriä leveällä puutavaralla. Tämän esimerkin turvin voidaan todeta, että henkilökohtaiset eroavaisuudet määräysten ja ohjeistusten soveltamisessa vaikuttavat ristikkorakenteen kustannuksiin ja menekkeihin.

Toiminnallisena tutkimusmenetelmänä tässä opinnäytetyössä käytetty tarjouslaskentamenetelmä sisälsi osaltaan tulostietoja jo lähtötilanteessa vääristäviä elementtejä. Kohdeyrityksen käytössä oleva tarjouslaskentaohjelmisto ei suoraan ota kantaa välituntojen hinnoitteluun. Tuentavaihteluiden erikoishinnoittelu jää myyjähenkilön vastuulle, jolloin vaihtelevien tuentaolosuhteiden tapauksissa voi tarjouslaskentaprosessin tulokset vaihdella myyjähenkilöiden välillä. (Simpanen, 2018) Tässä opinnäytetyössä toiminnallisissa tutkimuksissa tarkasteltiin vain yhden kohdeyrityksessä toimivan myyjähenkilön tarjouslaskennan tuloksia tutkimusristikoiden osalta.

6.2 Tavoitteiden saavuttaminen

Tälle opinnäytetyölle asetetut tavoitteet olivat selkeyttää työskentelymekaniikkaa kokonaisuutena välituentatapauksissa ja tutkia tuntojen vaihtelevuuden vaikutuksia tavanomaisiin kattokannatinristikoihin. Tarkoituksena tutkimuksissa oli kohdentaa tulostiedot ja analyysi naulalevyrakenteiden tuotantoketjun alkupäähän. Tavoitteeksi kirjattuna oli myös luoda varmuutta työskentelytapoihin ja kehittää kohdeyrityksen käytössä olevia sekä tarjouslaskennan ohjelmistoa että menetelmiä. Tarjouslaskennan kannalta tavoitteena oli, että tutkimusten tulostietoja voitaisiin käyttää apuna tarjouslaskennan työkaluna sen eri muodoissa.

Pääosin tässä opinnäytetyössä päästiin ennalta määrättyihin tavoitteisiin. Tutkimukset suoritettiin onnistuneesti ja tutkimusten menetelmissä onnistuttiin olosuhteisiin nähden hyvällä tasolla. Rajallisten resurssien puitteissa kattokannattimien ominaisuuksia välituentatapauksissa tutkittiin neljän erilaisen ristikkomallin puitteissa. Tutkimustuloksista koottiin erilaisia kuvaajia ja diagrammeja kohdeyrityksen tarjouslaskennan ja myyntisektorin työkaluksi. Suoraan tarjouslaskentaohjelmistoon syötettävää välituntoja huomioivaa kerrointa ei jälkianalyysin perusteella päädytty luomaan osittain virheellisten tulosten ja luotettavuuden perusteella.

6.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Tämän opinnäytetyön tutkimusten luonteen johdosta mahdollisia jatkotutkimusmahdollisuuksia tuli tutkimustöiden suoritusten aikana runsaasti. Tässä opinnäytetyössä ja sen tutkimuksissa käsiteltyjä aihealueita ei valmiina tutkimuspohjana ole saatavilla ja käytettävissä kohdeyrityksessä, joten tarkentavat ja kohdentavat tutkimukset olisivat osittain tarpeellisia. Kuitenkin aiheen laadun ja luonteen

perusteella voidaan todeta, että tyhjentäviä tutkimuksia tässä opinnäytetyössä käsitellystä aiheesta on haastava suorittaa. Jokaisen ristikkomallin ollessa erilainen ja kausipainotteisesti muuttuva tilauskanta antavat ongelmallisen pohjan luoda jokaisessa tilanteessa luotettavaa ja oikeellista tilastotietoa muuttuvien tuentamallien käyttäytymisestä.

Jotta tulostietojen tarkkuutta voitaisiin kasvattaa, tulisi toiminnallisten tutkimusmuotojen sisältämää otantakantaa kasvattaa laajemmaksi. Otannan sisältämiä työntekijöitä voitaisiin kasvattaa, varsinkin myyntipuolen henkilöiden lukumäärää. Tarjouslaskelmien lukumäärän kasvattamisella voitaisiin saada luotettavampaa tietoa tarjouslaskentaohjelman ja myyntiosaston kokonaisuuden toiminnasta. Naulalevyrakenteiden suunnittelijoiden lukumäärää ei tässä opinnäytetyössä käytetystä otantakanasta voitaisi enää merkittävästi kasvattaa, koska saatavilla olevia suunnittelijahenkilöitä ei kohdeyrityksessä palkattuna enempää ole. Lukumäärää voitaisiin tietyin perustein kuitenkin laajentaa esimerkiksi toisiin yrityksiin, mikäli tutkimusyhteistyötä saman alan yrityksen kanssa haluttaisiin suorittaa.

Jatkotutkimusmahdollisuutena voidaan myös pitää erilaisten tutkimusristikoiden lukumäärän lisäämistä ja vaihtoehtojen lisäämistä. Resurssien puitteissa tutkittavia ristikkomalleja voitaisiin lisätä siten, että ristikoita olisi enemmän eri kokoluokissa. Myös tuentamallien luonnetta voitaisiin tässä opinnäytetyössä esiintyneistä malliratkaisuista varioida. Tässä opinnäytetyössä käsitellyt tuentamalliesimerkit ja tutkimustulokset eivät anna tarpeeksi luotettavaa tietoa esimerkiksi siitä, kuinka kaksi- ja kolmitukiset tuentamallikokonaisuudet eroavat menekkien ja kustannusten puolesta. Erilaisia tuentamalleja voitaisiin siis mahdollisessa jatkotutkimuksessa lisätä kuvaamaan tuentavaihtoehtojen lukumäärän vaikutusta kokonaisuuteen.

Koska tämän opinnäytetyön tutkimuksissa esiintyneen pienimmän ristikkomallin (amiont:1) käyttäytymistä oli tulosten valossa vaikea arvioida, voitaisiin jatkotutkimusmahdollisuutena mainita verrattain pienten kannatinristikoiden lisäämistä tutkimuksiin. Pienen ristikon luonteen johdosta ristikon geometriassa esiintyi tulosten valossa suurta vaihtelua eri suunnittelijayksilöiden välillä, joten tulokset ovat arvioituna osittain virheellisiä. Verrattain pienten ristikoiden, joiden alapaarremitta olisi esimerkiksi välillä 3000 - 5000 millimetriä, lisäämisellä tutkimuksiin voitaisiin saada kattavampaa tilastotietoa pienten ristikoiden käyttäytymisestä välituentatapauksissa.

LÄHDELUETTELO

Efunda.fi. *Compression members*. Haettu 20. 3 2018 osoitteesta

http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/columns/intro.cfm

Finder.fi. *Viimeisin saatavilla oleva liikevaihtoluku*. Haettu 20. 3 2018 osoitteesta <https://www.finder.fi/>

Inspecta Sertifiointi Oy. *Inspecta Sertifiointi Oy:n hyväksymät vastaavat NR-suunnittelijat (Eurocode 5 - EN 1995:2004)*. Haettu 28. 2 2018 osoitteesta <https://www.inspecta.fi/Palvelut/Sertifiointi-ja-arviointi/henkilopatevyyssrekisteri/NR-Suunnittelijat/>

Inspecta.fi. *Inspecta Sertifiointi Oy:n hyväksymät Eurokoodi 5 mukaiset NR-suunnitteluohjelmat*. Haettu 28. 2 2018 osoitteesta <https://www.inspecta.fi/Palvelut/Sertifiointi-ja-arviointi/Sertifikaattihaku/NR-suunnitteluohjelmat/>

Kevarinmäki, A. (16. 1 2014). *NR-rakenteiden suunnitteluohjeiden status CE-merkityissä tuotteissa*. Noudettu osoitteesta <http://www.slly.fi/nr-paivat-2014/2%20Ari%20Kevarinm%C3%A4ki.pdf>

KvaliMOTV. *Strukturoitu ja puolistrukturoitu haastattelu*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_3.html

Lampimäki, J. (2014). *Mastopilarin FEM-laskenta, Opinnäytetyö*. Savonia-ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen ala. Noudettu osoitteesta <http://www.theseus.fi/handle/10024/72650>

Lossi, H. (25. 1 2018). Vastaava NR-suunnittelija. *Nauhoitettu haastattelu*. Keitele.

Mikkonen, A. digikuva. *Naulalevyrakenteiden kokoonpanolinja 7.2.2018*. Sepa Oy, Keitele.

Mitek.fi. *Mitek Top-W -naulalevy*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta <http://www.mitek.fi/Tuotteet/Naulalevy/Top-W/>

Puuinfo Oy. (2010). *Eurokoodi 5 Sovelluslaskelmat, Asuinrakennus*. Noudettu osoitteesta <https://www.puuinfo.fi/eurokoodit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus>

Puuinfo Oy. (2011). *Puurakenteiden suunnittelu, Lyhennetty suunnitteluohje*. Noudettu osoitteesta <https://www.puuinfo.fi/search/site/lyhennetty>

Puuinfo.fi. *Rakennesahatavara*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta <https://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/rakennesahatavara>

Rakennustietosäätiö. (1993). *RT 85-10495, Puuristikot ja kehät*. Rakennustieto Oy.

Sepa Oy, Naulalevyrakenteiden tuentaohje. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta <http://www.sepa.fi/ohjeita>

Sepa.fi. Haettu 1. 2 2018 osoitteesta <http://www.sepa.fi/>

Simpanen, S. (7. 2 2018). Aluemyyntipäällikkö. *Nauhoitettu haastattelu*. Keitele.

Sormunen, T. (2005). *Statiikan peruskurssin oppimateriaali*. Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka.
Noudettu osoitteesta <http://www.theseus.fi/handle/10024/9704>

Suomen rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. (2017). *RIL 205-1-2017*.

Vainionpää, K. (1991). *Tehdasvalmisteisen kattoristikon kustannusrakenteen selvitys ja jälkilaskentajärjestelmän kehittäminen, Insinöörityö*. Kuopion teknillinen oppilaitos, Rakennusosasto. Saatavilla vain Sepa Oy:n arkistosta.

Valtionvarainministeriö. (26. 9 2017). *Rakentaminen 2017-2018*. Haettu 1. 2 2018 osoitteesta
<http://vm.fi/rakennusalan-suhdanteet>

Ympäristöministeriö. (20. 12 2016). *Rakenteiden lujuus ja vakaus*. Haettu 1. 2 2018 osoitteesta Puurakenteet, ohjeet, 2016: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus

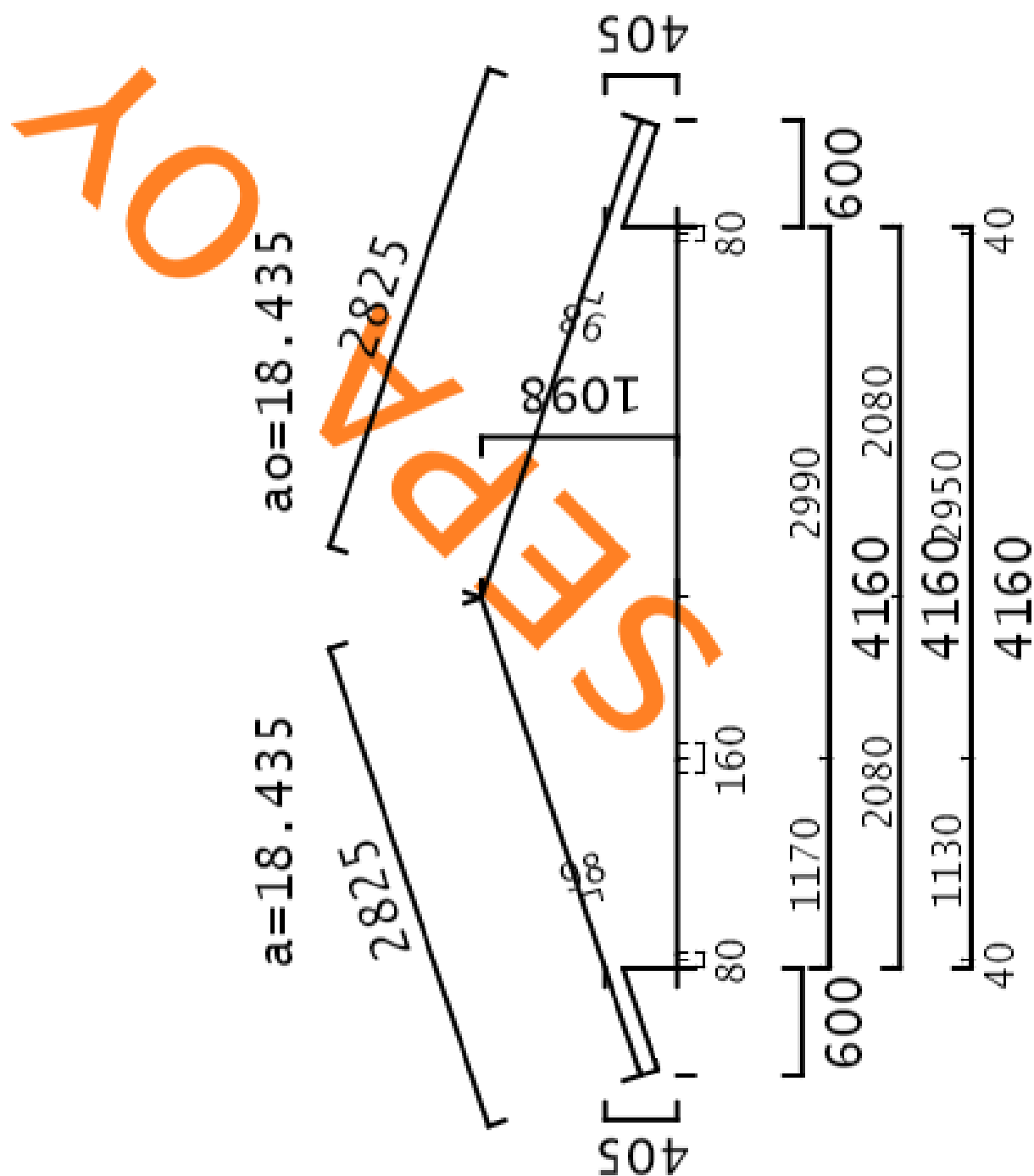
Ympäristöministeriö. (8. 1 2018). *Kantavat mekaanisin liitoksin kootut puurakennekokoonpanot (Naulalevyrakenteet)*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/Kansalliset_hyvaksyntamenettelyt/Varmennustodistus

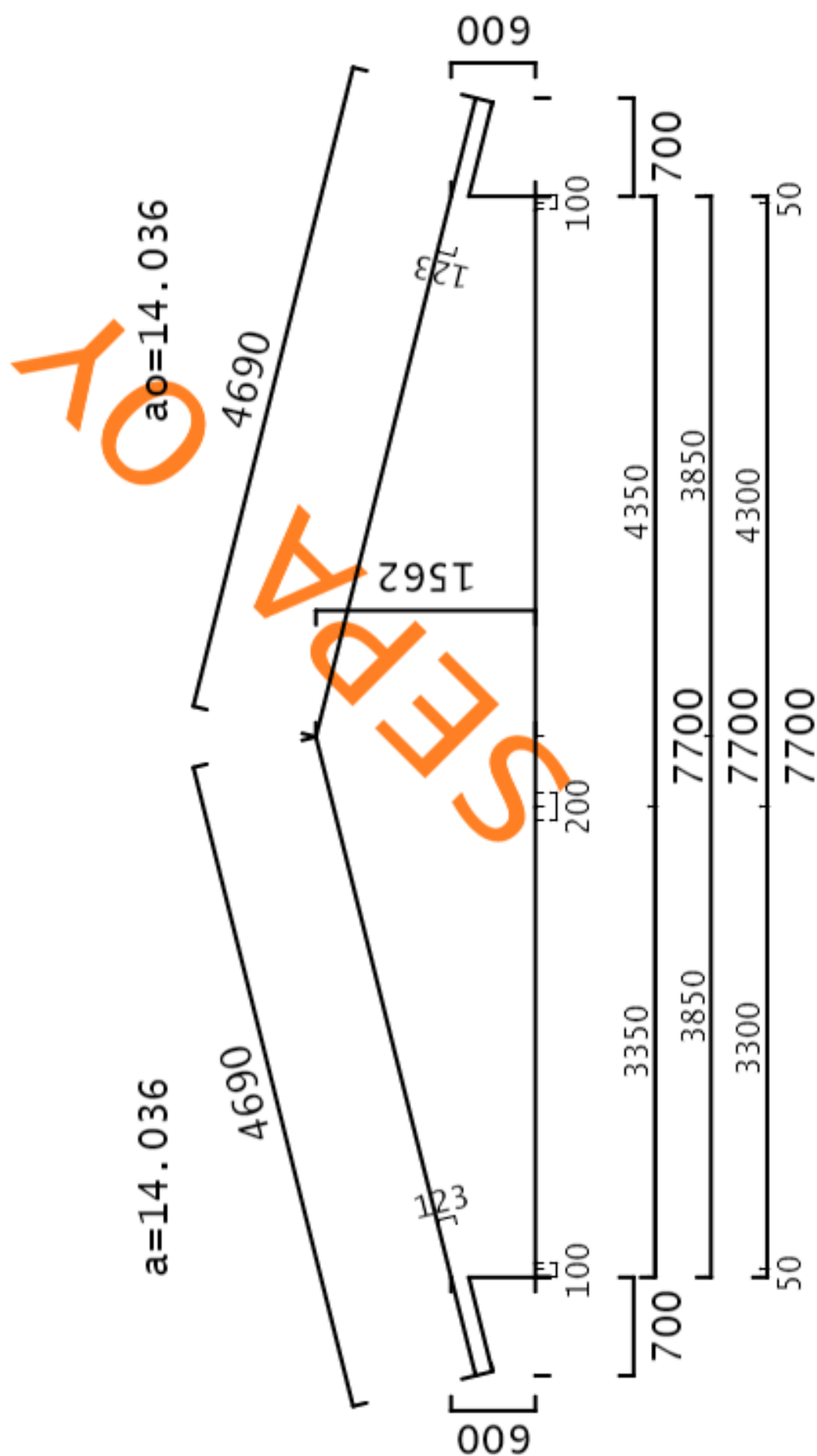
Yritysesittely. (2017). Sepa Oy. *Sepa Oy:n käytössä ollut PowerPoint-tiedosto*.

LIITTEET

Liite 1. Tutkimustöiden ristikkokaaviot

Liite 1.1. amiont:1





Liite 1.4. amiont:4

